

VOLNEI PAULETTI

**RENDIMENTO DE SOJA, MILHO E FEIJÃO COM ESTRATÉGIAS DE
APLICAÇÃO DE ADUBO MINERAL, NO SISTEMA PLANTIO DIRETO**

**Tese apresentada no Curso de Pós-Graduação
em Agronomia, área de concentração Produção
Vegetal, Departamento de Fitotecnia e
Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias,
Universidade Federal do Paraná, como parte
das exigências para obtenção do Doutorado.**

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Beatriz Monte Serrat

CURITIBA

2006




UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E FITOSSANITARISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
PRODUÇÃO VEGETAL

PARECER

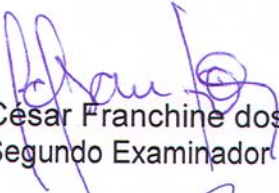
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, reuniram-se para realizar a arguição da Tese de DOUTORADO, apresentada pelo candidato **VOLNEI PAULETTI**, sob o título "**RENDIMENTO DE SOJA, MILHO E FEIJÃO COM ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO DE ADUBO MINERAL, NO SISTEMA PLANTIO DIRETO**", para obtenção do grau de Doutor em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Tese.

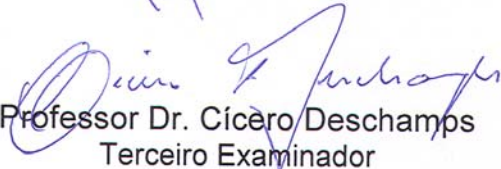
Curitiba, 18 de Dezembro de 2006.



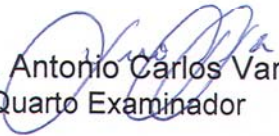
Professor Dr. Paulo Roberto Ernani
Primeiro Examinador



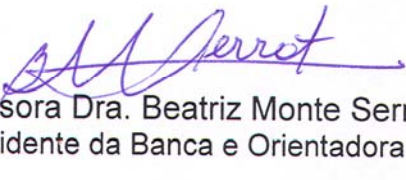
Dr. Julio Cesar Franchine dos Santos
Segundo Examinador



Professor Dr. Cícero Deschamps
Terceiro Examinador



Professor Dr. Antonio Carlos Vargas Motta
Quarto Examinador



Professora Dra. Beatriz Monte Serrat
Presidente da Banca e Orientadora

Pauletti, Volnei

Rendimento de soja, milho e feijão com estratégias de aplicação de adubo mineral, no sistema plantio direto/Volnei Pauletti. – Curitiba, 2006.
79 p.

Tese (Doutorado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

1. Semeadura direta 2. Adubação de semeadura 3. Formas de adubação 4. Produtividade 5. Amostragem de solo 6. Profundidade de amostragem 7. Crescimento de milho I.Título

CDU 631.8

VOLNEI PAULETTI

**RENDIMENTO DE SOJA, MILHO E FEIJÃO COM ESTRATÉGIAS DE
APLICAÇÃO DE ADUBO MINERAL, NO SISTEMA PLANTIO DIRETO**

**Tese apresentada no Curso de Pós-Graduação
em Agronomia, área de concentração Produção
Vegetal, Departamento de Fitotecnia e
Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias,
Universidade Federal do Paraná, como parte
das exigências para obtenção do Doutorado.**

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Beatriz Monte Serrat

Co-orientadores:

Prof. Dr. Antonio Carlos Vargas Motta

Prof^a. Dr^a. Nerilde Favaretto

CURITIBA

2006

À meus pais Lourdes e Celeste Pauletti, por
acreditarem nesta conquista.

OFEREÇO

À minha esposa Ângela e aos meus filhos Lucas e
Bruna, pelo amor e pelas horas dedicadas. Minhas
vidas.

DEDICO

AGRADEDIMENTOS

A minha esposa Ângela, pelo apoio e pela segurança em conduzir nossa família durante este trabalho. Te amo.

A minha orientadora Beatriz. Sua ajuda, esforço e tempo foram fundamentais na minha formação profissional e de vida. Obrigado por mais esta oportunidade, minha amiga.

Ao professor e amigo Antonio Carlos Vargas Motta que desde a graduação acreditou neste que foi e sempre será seu aluno.

Ao colega e amigo Luis Carlos Costa que manteve o Setor de Fertilidade de Solos da Fundação ABC durante minha ausência e pela contribuição segura nas avaliações de campo. Que Deus o abençoe.

Aos professores que me auxiliaram muito nesta caminhada: Nerilde Favaretto do curso de Agronomia e Adilson dos Anjos, do curso de Estatística, ambos da UFPR.

À Fundação ABC pela oportunidade de realizar este doutorado, acreditando no treinamento e formação de seus colaboradores. Poucas empresas tem esta visão.

À Universidade Federal de Paraná, em especial ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal. Espero retribuir ao nosso país pelo investimento feito em minha formação.

Aos colegas e amigos da Fundação ABC Leandro M. Gimenez, Rodrigo Tsukahara e Rudimar Molin, pela parceria na Fundação ABC e ajuda na tese.

Aos estudantes do curso de agronomia da UFPR (Universidade Federal do Paraná), Jonas Geiss e da UEPG (Universidade Estadual de Ponta Grossa) Fábio Salommons e Larissa Bavoso, pela ajuda.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE APÊNDICES	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REVISÃO GERAL	4
2.1 ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO E EFEITOS NO ACÚMULO DE BIOMASSA E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS	4
2.2 VARIABILIDADE DA FERTILIDADE E AMOSTRAGEM DE SOLO EM FUNÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO	10
3 MATERIAL E MÉTODOS GERAL	14
4 CAPÍTULO 1 – PRODUTIVIDADE DE SOJA, MILHO E FEIJÃO EM FUNÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO	22
4.1 RESUMO	22
4.2 ABSTRACT	23
4.3 INTRODUÇÃO	24
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	27
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.6 CONCLUSÕES	37
5 CAPÍTULO 2 – DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE MILHO APÓS SEIS ANOS DE ADOÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO EM PLANTIO DIRETO	38
5.1 RESUMO	38
5.2 ABSTRACT	39
5.3 INTRODUÇÃO	40
5.4 MATERIAL E MÉTODOS	42
5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44

5.6 CONCLUSÕES	50
6 CAPÍTULO 3 - FERTILIDADE DE UM LATOSSOLO BRUNO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO EM FUNÇÃO DA ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO E DO MÉTODO DE AMOSTRAGEM	51
6.1 RESUMO	51
6.2 ABSTRACT	52
6.3 INTRODUÇÃO	53
6.4 MATERIAL E MÉTODOS	56
6.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
6.5.1 Distribuição dos atributos da fertilidade do solo em profundidade - três anos após o início do experimento	58
6.5.2 Distribuição dos atributos da fertilidade do solo em profundidade - seis anos pós o início do experimento	59
6.5.3 Metodologia de coleta de amostra	63
6.6 CONCLUSÕES	67
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
REFERÊNCIAS	69
APÊNDICES	77
RESUMO BIOGRÁFICO	79

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DOS ANOS 1998 A 2005 E MÉDIA DOS ÚLTIMOS 30 ANOS, EM CASTRO, PR – DADOS INTERNOS FUNDAÇÃO ABC	15
TABELA 2. PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA MÉDIA MENSAL DOS ANOS 1998 A 2005 E MÉDIA DOS ÚLTIMOS 30 ANOS, EM CASTRO, PR – DADOS INTERNOS FUNDAÇÃO ABC.....	16
TABELA 3. CARACTERÍSTICAS QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA GERAL DA ÁREA, ANTES DO INÍCIO DO EXPERIMENTO (1998).....	16
TABELA 4. ÉPOCA E FORMA DE APLICAÇÃO DOS NUTRIENTES E MECANISMOS SULCADORES POR TRATAMENTO.....	19
TABELA 5. QUANTIDADE DE NUTRIENTES APLICADA E CULTIVARES PARA CADA CULTURA.....	19
TABELA 6. CONTRASTES UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DOS DADOS EXPERIMENTAIS E OBJETIVOS.....	28
TABELA 7. P-VALORES DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS, PARA AS CULTURAS DA SOJA, MILHO E FEIJÃO.....	29
TABELA 8. EFEITO DA APLICAÇÃO DE ADUBO SOBRE A PRODUTIVIDADE (MG HA ⁻¹) DE SOJA, MILHO E FEIJÃO (CONTRASTES UTILIZANDO O TESTE DE SCHEFFÉ).....	30
TABELA 9. EFEITO DA APLICAÇÃO DE ADUBO SOBRE O NÚMERO FINAL DE PLANTAS (NPLA) E DE ESPIGAS (NESP) POR HECTARE E SOBRE A ALTURA DE PLANTA (ALTP) E DE INSERÇÃO DE ESPIGA (ALTESP) EM MILHO (CONTRASTES UTILIZANDO O TESTE DE SCHEFFÉ).....	33

TABELA 10. EFEITO DA APLICAÇÃO DE ADUBO SOBRE A MASSA DE MIL GRÃOS (g) DE MILHO (CONTRASTES UTILIZANDO O TESTE DE SCHEFFÉ).....	34
TABELA 11. MATÉRIA SECA E ÁREA FOLIAR POR PLANTA POR DIA APÓS A EMERGÊNCIA (DAE) E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS, MASSA DE MIL GRÃOS, NÚMERO FINAL DE PLANTAS E DE ESPIGAS, EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	45
TABELA 12. MÉDIA ARITMÉTICA DOS TEORES DE FÓSFORO (P), CARBONO ORGÂNICO (CO), pH, POTÁSSIO (K), CÁLCIO (CA), MAGNÉSIO (MG), CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIOS (CTC) E SATURAÇÃO POR BASES (V) NO SOLO, EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS E DA PROFUNDIDADE DE COLETA DAS AMOSTRAS – 2001.....	59
TABELA 13. MÉDIA ARITMÉTICA DOS TEORES DE FÓSFORO (P), CARBONO ORGÂNICO (CO), pH, POTÁSSIO (K), CÁLCIO (CA), MAGNÉSIO (MG), CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIOS (CTC) E SATURAÇÃO POR BASES (V) NO SOLO, EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS E DA PROFUNDIDADE DE COLETA DAS AMOSTRAS – 2004.....	60
TABELA 14. MÉDIA ARITMÉTICA DOS TEORES DE FÓSFORO (P), CARBONO ORGÂNICO (CO), pH, POTÁSSIO (K), CÁLCIO (CA), MAGNÉSIO (MG), CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIOS (CTC) E SATURAÇÃO POR BASES (V) NO SOLO, EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS, DA PROFUNDIDADE E DO MÉTODO DE COLETA DAS AMOSTRAS – 2004.....	65

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO NO CAMPO DEMONSTRATIVO E EXPERIMENTAL (CDE) DA FUNDAÇÃO ABC – CASTRO, PR.....	14
FIGURA 2. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO DAS CULTURAS NAS ROTAÇÕES DURANTE O DESENVOLVIMENTO DOS ENSAIOS	17
FIGURA 3. VISUALIZAÇÃO DO MECANISMO SULCADOR TIPO GUILOTINA (ESQUERDA) E DISCO DUPLO (DIREITA).....	20
FIGURA 4. VISUALIZAÇÃO DA COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO COM A INCLUSÃO DA LINHA DE SEMEADURA (DIREITA) E TRADO DO TIPO CALADOR (ESQUERDA) UTILIZADO PARA AMOSTRAGEM	21
FIGURA 5. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR MÉDIO DOS TRATAMENTOS COM APLICAÇÃO DE ADUBO E DO TRATAMENTO SEM ADUBO, DURANTE O CICLO DA CULTURA DO MILHO.....	48
FIGURA 6. TAXA DE CRESCIMENTO RELATIVO (TCR) MÉDIA DOS TRATAMENTOS COM APLICAÇÃO DE ADUBO E DO TRATAMENTO SEM ADUBO, DURANTE O CICLO DA CULTURA DO MILHO	49
FIGURA 7. TAXA ASSIMILATÓRIA LÍQUIDA (TAL) MÉDIA DOS TRATAMENTOS COM APLICAÇÃO DE ADUBO E DO TRATAMENTO SEM ADUBO, DURANTE O CICLO DA CULTURA DO MILHO.....	49

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE 1. PRODUTIVIDADES MÉDIAS DE SOJA E FEIJÃO, POR SAFRA, EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	77
APÊNDICE 2. PRODUTIVIDADES MÉDIAS DE MILHO EM QUATRO SAFRAS, EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS.....	78

RENDIMENTO DE SOJA, MILHO E FEIJÃO COM ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO DE ADUBO MINERAL, NO SISTEMA PLANTIO DIRETO

Autor: VOLNEI PAULETTI

Orientador: Prof. Dr^a. BEATRIZ MONTE SERRAT

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido entre os anos de 1998 e 2005, em Castro, PR, primeiro planalto paranaense, em um LATOSSOLO BRUNO por longo período cultivado sob plantio direto. O objetivo geral foi avaliar estratégias de aplicação de adubo mineral de semeadura nas culturas do milho (*Zea mays*, L.), soja (*Glycine max*, L. Merr.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em rotação e no sistema plantio direto. Os objetivos específicos foram: avaliar o efeito de estratégias de aplicação de adubo mineral de semeadura sobre a produtividade de milho, soja e feijão; identificar diferenças no crescimento e na produtividade do milho, após um longo tempo de adoção de estratégias de adubação de semeadura; determinar a distribuição de atributos químicos do solo em profundidade após três e seis anos de adoção de estratégias de adubação de base em uma rotação de culturas sob plantio direto; verificar a influência de estratégias de aplicação de adubo sobre a variação dos atributos químicos do solo em função de dois métodos e de duas profundidades de coleta de amostras de solo. Dois ensaios foram conduzidos simultaneamente, um iniciando com soja e outro com milho, durante dois ciclos da rotação aveia preta (*Avena strigosa* L.)/soja/aveia preta/milho/trigo (*Triticum aestivum* L.)/feijão. Aplicaram-se 10 tratamentos, contemplando fontes de fósforo (P) (fosfato natural e superfosfato triplo - SFT), mecanismos sulcadores (disco duplo e haste), formas (sulco e superfície) e épocas (inverno e verão) de aplicação de adubo de base, e um tratamento sem adubação. A cultura da soja não respondeu à adubação com fósforo (P) e potássio (K) por pelo menos sete anos quando os teores de P são altos e os de K médios no solo. O milho e o feijão responderam à adubação de semeadura contendo nitrogênio (N), P e K, que pode ser realizada no sulco ou a lanço, na safra anterior ao cultivo ou na safra de cultivo e utilizando mecanismo sulcador tipo disco duplo ou do tipo haste. Para as culturas e doses utilizadas, tanto o N quanto o K podem ser

aplicados no sulco de semeadura. O uso de fosfato natural proporcionou às culturas avaliadas a mesma produtividade que o superfosfato triplo. A ausência de adubação proporcionou redução no acúmulo de matéria seca (MS) e na área foliar (AF) do milho, em todas as fases avaliadas da cultura, sendo que após 48 dias da emergência, todos os tratamentos com aplicação de adubo tiveram resultados semelhantes tanto no acúmulo de MS quanto na AF. A ausência de adubação proporcionou taxa de crescimento relativo e taxa assimilatória líquida maiores no início e menores no final do desenvolvimento das plantas de milho, em relação à presença de adubação de semeadura. Os atributos químicos do solo foram maiores nas camadas superficiais. O teor de P foi menor na profundidade de 0-5 cm com o uso contínuo por mais de três anos do mecanismo sulcador tipo haste e com a ausência de adubação. As metodologias de coleta de solo, com e sem inclusão da linha de semeadura, foram diferentes somente para os teores de K, cálcio e capacidade de troca catiônica, sendo que os maiores valores são observados com a inclusão da linha de semeadura. Os maiores teores dos atributos químicos avaliados no solo foram obtidos com a coleta de 0-10 cm em relação à coleta de 0-20 cm. As metodologias de coleta de amostras de solo com e sem inclusão da linha de semeadura, e as profundidades de coleta 0-10 e 0-20 cm, foram semelhantes quanto à interpretação dos resultados das análises para fins de recomendação de adubação e calagem.

Palavras chave: plantio direto, formas de adubação, nutrientes, crescimento do milho, amostragem de solo.

SOYBEAN, CORN AND DRY BEAN YIELD WITH MINERAL FERTILIZER APPLICATION STRATEGIES, UNDER NO TILLAGE CROP ROTATION SYSTEM

Author: VOLNEI PAULETTI

Adviser: Prof. Dr^a. BEATRIZ MONTE SERRAT

ABSTRACT

This work was developed in the Paraná state, southern of Brazil, and from 1998 to 2005. The soil in the experimental site is classified as Haplohumox, and had been cultivated under no-tillage system for several years. The study aimed to evaluate the strategies for starter fertilization and its effect on maize (*Zea mays*, L.), soybean (*Glycine max*, L. Merr.) and dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yield, growth (corn), distribution of components of the soil fertility in depth and in the results of two methods and two depths of soil sampling. The crop rotation used was black oats (*Avena strigosa*, L.) / soybean / black oats / corn / wheat (*Triticum aestivum* L.) / dry bean. Ten treatments including two phosphorus (P) sources (rock phosphate or triple superphosphate), row preparation components (double disc opener or coulter opener), position of fertilizer placement (in-furrow or broadcast), timing of application (summer or winter) and a control without fertilizer were tested. Soybean yield did not increase with the application of P and potassium (K) for at least seven seasons when cultivated in soils that had high level of P and medium K. The maize and the dry bean yields increased with the application of nitrogen (N), P and K, and that could be accomplished by row or broadcast application, in the winter previous to the cultivation or in the summer of cultivation and using double disc opener or coulter opener. For the crops and used rates, N and K can be applied in-furrow. The use of rock phosphate provides the same yield that the triple superphosphate. The absence of fertilization reduced the dry matter accumulation and the foliar area, in all phases of the culture of maize and after 48 days of the emergence all treatments with fertilizer application were similar on dry matter and foliar area. The fertilization absence provided larger

relative growth rate and net assimilation rate in the beginning and smaller at the end of the plants maize development, than treatments with fertilizer. The chemical components of the soil were larger in the superficial layers. The level of P was smaller in the depth of 0-5 cm with the continuous use for more than three years of the coulters opener and fertilizer absence. The methods of soil sampling, with and without the inclusion of seeding furrow, provided different results for the levels of K, calcium (Ca) and cation exchange capacity (CEC), and larger values were observed with the inclusion of the seeding furrow. Larger levels of chemical components in the soil were obtained with the soil sampling at 0-0,1 m depth in relation to sampling at 0-0,2 m depth. The methods of soil sampling with and without the inclusion of the seeding furrow, and the depths of soil sampling provided similar fertilizer and lime recommendations.

Key words: no-tillage, starter fertilization strategies, nutrients, corn growth, soil sampling.

1. INTRODUÇÃO GERAL

As culturas da soja, milho e feijão são de grande importância econômica para o Estado do Paraná, ocupando na safra 2004/05 áreas superiores a quatro milhões, dois milhões e 400 mil hectares, respectivamente (SEAB, 2006). A maioria das áreas com estas culturas está sob sistema plantio direto (SPD), sistema que ocupou na safra 2000/01 uma área de 3,45 milhões de hectares no estado (FBPDP, 2006).

Áreas com maior tempo de uso agrícola e que adotaram o SPD há mais de 20 anos, como na região dos Campos Gerais no PR, tendem a apresentar médios ou altos teores dos parâmetros químicos do solo. Isto se deve à repetida aplicação de corretivos de acidez do solo e de adubos, visando atender as necessidades de culturas produtoras de grãos como soja, milho e feijão. A forma mais comum de aplicação de adubos para essas culturas é em sulcos durante a operação de semeadura, em especial para fósforo (P) e potássio (K). Na região dos Campos Gerais – PR, as formulações de adubos aplicados na semeadura do milho e do feijão geralmente contém os nutrientes nitrogênio (N), P e K em relações entre 1:0,9:0 e 1:0,9:1,7, enquanto que as formulações para a soja, comumente contém esses nutrientes na relação 0:1:1,9.

A aplicação de adubo em sulcos aumenta de forma localizada a concentração de nutrientes, especialmente P e K, favorecendo a absorção pelas plantas e diminuindo a possibilidade de fixação pelos colóides do solo. Além da fixação, baixas temperaturas, deficiência hídrica ou umidade excessiva durante o desenvolvimento das culturas podem inibir a absorção destes nutrientes. Esta aplicação em sulcos normalmente proporciona aumento no crescimento inicial das plantas, com pouco ou ausente efeito sobre a produtividade de grãos quando os teores dos nutrientes são médios a altos no solo. Além disto, esta forma de aplicação tende a aumentar a variabilidade horizontal e vertical dos teores de P e K, especialmente no SPD onde não ocorre revolvimento do solo. Esta constatação pode alterar a forma e a profundidade de amostragem de solo para fins de recomendação de adubação e calagem. Geralmente a inclusão da região adubada e das profundidades superficiais aumenta os teores de nutrientes na amostra.

A adoção de alternativas à aplicação de adubos em sulcos durante a semeadura, poderia facilitar esta operação, devido ao tempo necessário para a alimentação da semeadora com adubos, acrescentando vantagens como o menor custo da operação de adubação, menor tempo necessário para a semeadura e possibilitaria, em função do menor tempo gasto, realizar a semeadura em condições mais favoráveis às sementes.

Experimentos de longa duração que avaliem estratégias de aplicação de adubo são necessários para verificar os efeitos sobre as plantas, na distribuição dos nutrientes no solo e para determinar ou avaliar metodologias de coleta de amostras de solo para fins de fertilidade.

Este trabalho foi realizado na região dos Campos Gerais – Paraná, com objetivo geral de avaliar estratégias de aplicação de adubo mineral de base nas culturas do milho (*Zea mays*, L.), soja (*Glycine max*, L. Merr.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em rotação e no sistema plantio direto. Em função disso, foram elaborados tratamentos que poderiam ser executados por práticas agrícolas mecanizadas, sem comprometer a estrutura existente nas fazendas regionais. Os tratamentos incluíram aplicação de adubo de semeadura em sulco e fora do sulco, no inverno anterior e no verão de cultivo da cultura teste, substituição do fosfato solúvel por fosfato natural e utilização de diferentes mecanismos sulcadores na semeadora. Para minimizar o efeito de variações climáticas, foram conduzidos ao mesmo tempo dois experimentos, com diferentes culturas teste por safra. Também planejou-se manter o ensaio por longo período, para consolidar as diferenças entre os tratamentos com o passar dos cultivos.

Os objetivos específicos foram: avaliar o efeito de estratégias de aplicação de adubo mineral de base sobre a produtividade de milho, soja e feijão; identificar diferenças no crescimento e na produtividade do milho, após um longo tempo de adoção de estratégias de adubação de semeadura; determinar a distribuição de atributos químicos do solo em profundidade após três e seis anos de adoção de estratégias de adubação de semeadura em uma rotação de culturas sob plantio direto e; verificar a influência de estratégias de aplicação de adubo sobre a variação dos atributos químicos do solo em função de dois métodos e de duas profundidades de coleta de amostras de solo.

O trabalho está dividido em três capítulos. O primeiro contempla as avaliações que foram realizadas nas culturas como população final de plantas, número de espigas, massa de mil grãos e produtividade de grãos. O segundo dedica atenção à análise de crescimento e produtividade do milho, após seis anos de adoção dos tratamentos. Para essas avaliações escolheu-se a cultura do milho, que em produtividade apresentou as maiores diferenças em função dos tratamentos, por apresentar maior acúmulo de biomassa e por ser a cultura com maior espaçamento entre plantas e linhas de semeadura, o que poderia potencializar as variações entre os tratamentos. No terceiro capítulo, são discutidos os dados obtidos com as avaliações das características químicas do solo, pretendendo-se contribuir com informações sobre distribuição dos atributos em profundidade e métodos de coleta de amostras e sua influência sobre a recomendação de adubo, realizando-se as amostragens aos três e seis anos após o início do experimento, ou seja, término de uma e duas vezes a rotação de culturas adotada.

2 REVISÃO GERAL

2.1 ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO E EFEITOS NO ACÚMULO DE BIOMASSA E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS

Para o fornecimento de nutrientes para as plantas, várias estratégias de aplicação dos adubos minerais podem ser adotadas. Aplicações a lanço ou localizadas, aplicações em sulcos mais profundos ou mais rasos, no cultivo anterior ou no próprio cultivo, entre outras.

Quando ocorre a localização do adubo em solos com baixos teores de nutrientes, o sistema radicular das plantas concentra-se na porção adubada (KLEPKER; ANGHINONI, 1995a; KASPAR; BROWN; KASSMEYER, 1991), mas o rendimento de matéria seca (MS), absorção de fósforo (P) e relação parte aérea/raiz tendem a ser maiores com o aumento dos níveis de P extraível em todo o solo (KLEPKER; ANGHINONI, 1995a). Na cultura do milho, Anghinoni (1992) observou em solo com teor muito baixo de P, alta resposta à aplicação deste nutriente, e que em baixas doses de P os efeitos positivos na altura das plantas são obtidos quando uma menor fração do solo é adubada. Nesse mesmo trabalho, o maior crescimento inicial não interferiu na produtividade de grãos, e em altas doses de P, acima de 160 kg ha^{-1} , a quantidade de solo adubado não modificou a altura da planta e a produtividade de grãos. Esses dados concordam com Silva et al. (1993) que obtiveram aumento da MS da parte aérea de milho e da concentração de P na parte aérea com a aplicação localizada de P em solo com baixo teor deste nutriente, e com Prado, Fernandes e Roque (2001) que em LATOSSOLO argiloso preparado com arado e grade e com nível baixo de P, obtiveram acentuado aumento de produtividade de milho com a aplicação de P, bem como efeito maior com a aplicação em sulco de semeadura em doses até 135 kg ha^{-1} . Para o potássio (K), Heckman e Kamprath (1992) avaliaram em solo arenoso a aplicação desse nutriente a lanço incorporado, com e sem aplicação complementar no sulco de semeadura, obtendo aumento de produtividade do milho com a aplicação de K em uma das três safras avaliadas, sem, no entanto, observar

diferença na forma de aplicação. Nesse trabalho, foi observado que a aplicação de K em períodos de seca, tanto a lanço em doses elevadas quanto no sulco, pode diminuir a MS inicial das plantas de milho, devido, segundo os autores, ao efeito salino do K aplicado na forma de cloreto.

No mesmo sentido, Mallarino, Bordoli e Borges (1999) observaram que ocorrem maiores crescimento e absorção inicial de P e K pelo milho com a aplicação localizada em sulco destes nutrientes, mas não refletindo em aumento de produtividade. Dados concordantes com Kaiser, Mallarino e Bermudez (2005) e com Model e Anghinoni (1992). Os últimos autores não observaram diferença no rendimento de milho quando P e K foram aplicados a lanço ou no sulco, em solo com teor suficiente de K (132 mg dm^{-3}) e limitante de P ($2,5 \text{ mg dm}^{-3}$), apesar das aplicações localizadas (linha e faixa) terem proporcionado maior altura de plantas aos 60 dias após a semeadura e quantidade de biomassa seca no florescimento. Segundo os autores, este comportamento evidencia que o sistema radicular ao explorar maior volume do solo com o crescimento da planta, proporciona suprimento adequado de P e K para as plantas. Nesse trabalho houve maior produtividade no sistema plantio direto (SPD) em relação ao convencional, apesar de apenas uma safra ter sido avaliada. Da mesma forma, Bullock et al. (1993) verificaram com a presença da adubação de semeadura com nitrogênio (N) e P, maiores massas de folhas e plantas, índice de área foliar e taxa assimilatória líquida apenas nas fases iniciais de crescimento do milho, não ocorrendo diferenças nas fases finais de desenvolvimento da cultura e na produtividade.

Em feijão, Zagonel (1997) estudando dois cultivares semeados em duas épocas, não observou variação na produtividade e no crescimento radicular com a adubação, nem com as diferentes profundidades de aplicação do adubo em sulcos que variaram entre 5 e 20 cm abaixo da semente, em solo preparado (convencional) e com teor médio de P e alto de K. Por outro lado, Mullins et al. (1994) trabalhando com algodão, perceberam que com a aplicação de K em sulcos a 38 cm abaixo da superfície em solo com médio teor de K, houve maior crescimento radicular das plantas, fato que não interferiu no acúmulo de matéria seca da parte aérea e na produtividade. Já para o

trigo, McConnell, Sander e Peterson (1986) verificaram maiores produtividades de grãos com a aplicação de P em sulcos entre 10 e 12 cm de profundidade, em relação à aplicação em menores profundidades.

Altos níveis de P ou de K no solo diminuem a necessidade de aplicação destes nutrientes (COMISSÃO RS/SC, 2004; RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999, RAIJ et al., 1996), situação que pode permitir variações na forma de aplicação de adubos. Para o Estado do Paraná, por exemplo, a adubação potássica a lanço já é sugerida na soja (EMBRAPA, 2005).

A adoção do SPD na região dos Campos Gerais no Paraná proporcionou, como em outras regiões, menores perdas de solo e água pela erosão (BERTOL, 1994, COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003, GUADAGNIN et al., 2005) e aumento na concentração de nutrientes e matéria orgânica nas camadas superficiais (MUZILLI, 1983; MERTEN; MIELNICZUK, 1991; SÁ, 1993; PAULETTI et al. 1995; PAULETTI et al., 2005). Além disso, a maioria das áreas desta região utilizadas atualmente para agricultura, era originalmente ocupada por campo nativo desenvolvido em baixa fertilidade e elevada acidez, o que pode favorecer o incremento da matéria orgânica pelo aporte de nutrientes, e conseqüente aumento da produção de fitomassa (PERIN; CERETTA; KLAMT, 2003). A concentração superficial dos nutrientes no SPD também depende das quantidades de macro e micronutrientes contidas na palha das culturas e que retornam ao local de extração, situação que varia significativamente em função das culturas envolvidas na rotação (PAULETTI, 2004).

A concentração superficial dos atributos de fertilidade no SPD tende a alterar as estratégias e necessidades de adubação. Neste sistema, devido a melhoria no aproveitamento do P pelas plantas, tende a ocorrer menor necessidade de adubação fosfatada para as culturas. Dentre os motivos que levam a este aumento do aproveitamento se destacam: o menor contato do nutriente com os colóides devido à concentração superficial, o que diminui a possibilidade de fixação; o aumento da umidade superficial pela presença de palha na superfície o que favorece a absorção por difusão (MUZILLI, 1983); deslocamento de P em profundidade no solo pelo efeito dos diferentes materiais vegetais presentes na superfície, como consequência da

diminuição da capacidade de adsorção com o aumento da concentração deste nutriente e pela ação de ácidos orgânicos liberados pela decomposição da palhada que podem diminuir a capacidade de adsorção dos colóides (CORREA; MAUAD; ROSOLEM, 2004); redistribuição do P em profundidade pelo sistema radicular de plantas de cobertura (FRANCHINI; PAVAN; MIYAZAWA, 2004); ou ainda devido à atividade biológica criando regiões de elevada concentração em profundidade (GASSEN; KOCHHANN, 1998). O deslocamento do P em profundidade, mesmo sem o revolvimento do solo, favorece o contato raiz-nutriente e consequentemente sua absorção.

Howard, Essington e Logan (2002) observaram em ensaio conduzido por 11 anos, que apesar de o milho ter apresentado maior produção de grãos no sistema convencional com preparo do solo que no SPD, nesse sistema a necessidade de aplicação de P é menor, e a aplicação localizada de N mais P complementando a aplicação a lanço, proporcionou resultados inconsistentes, o que sugere que a necessidade de localizar o adubo deve ser questionada. Um dos trabalhos que demonstram a eficiência do SPD em fornecer P é o desenvolvido por Sá (1995a). Esse autor observou aumento de produtividade de milho entre 9 e 11% com doses entre 13 e 39 kg ha⁻¹ de P aplicados no sulco de semeadura, em sete locais com 2 a 18 anos sob SPD. Mesmo nos locais com baixo teor de P as respostas foram semelhantes. Considerando os teores apresentados por Pauletti (2004), em que a exportação de P pelo milho é em média 3,8 kg por tonelada de grãos, adubações com doses em torno de 38 kg, seriam suficientes para manter os níveis desse nutriente no solo, para produtividades de até 10 t ha⁻¹, caso a eficiência na utilização do adubo fosfatado fosse 100%. Esse valor está próximo da quantidade máxima obtida pelo autor acima, que obteve produtividade média dos sete locais de aproximadamente 8 t ha⁻¹.

Kochhann, Denardin e Faganello (1998) combinando formas e profundidades de aplicação do adubo de semeadura em um sistema de rotação sob SPD envolvendo as culturas do trigo, soja, milho e aveia branca, em um solo com baixo teor de P disponível, observaram apenas aumento de produtividade quando foi aplicado o adubo em relação à não aplicação, enquanto todas as formas e/ou profundidades de aplicação

não diferiram entre si. Pöttker (1999), estudando doses e formas de aplicação de P verificou que para trigo cultivado sob SPD e em solos com alto teor de P disponível a adubação com esse nutriente pode ser reduzida ou eliminada, e em solos com médio teor, a aplicação no sulco de semeadura é mais eficiente que a aplicação a lanço. Segundo os dados desse autor, para a aveia branca e para a soja, apesar de ocorrer aumento da produtividade com a aplicação de P, a forma de aplicação não foi importante. Bordoli e Mallarino (1998), em trabalhos realizados em 16 locais, em áreas sob SPD entre 1 e 9 anos, observaram que o milho responde a P em solos com baixo e muito baixo teor de P, apesar de não apresentar respostas em alguns locais com esses mesmos teores, mas não houve diferença na forma de aplicação, sendo comparadas a aplicação a lanço e em sulco. Os mesmos autores verificaram resposta a K mesmo em solos com alto e muito alto teor desse nutriente e a aplicação no sulco foi superior em alguns casos, sendo essa resposta relacionada à deficiência hídrica ocorrida durante o desenvolvimento da cultura. Seguindo as mesmas observações, Borges e Mallarino (2000) obtiveram, no geral, aumento de produtividade de soja com a aplicação de P em áreas com baixo ou muito baixo teor desse nutriente, mas não observaram efeito das formas de aplicação, sendo a aplicação superficial semelhante à aplicação em sulco. Em algumas safras, onde a localização do adubo proporcionou maior produtividade, também houve associação entre teor de P muito baixo e períodos de deficiência hídrica. Para a soja, a aplicação de K aumentou a produtividade em alguns locais, mesmo com teores altos ou muito altos desse nutriente no solo e a aplicação em sulco foi ligeiramente superior à aplicação em superfície. Para Broch e Chueiri (2005) a forma e a época de aplicação do adubo da soja no SPD são dependentes do teor de P no solo, sendo importante manter pelo menos 50% da adubação no sulco de semeadura quando a fertilidade é média ou baixa e em regiões com probabilidade de ocorrência de períodos com deficiência hídrica durante o desenvolvimento da cultura.

Aplicações a lanço de K sem incorporação tem proporcionado produtividades semelhantes à aplicação no sulco em culturas como a soja (OLIVEIRA et al., 1992) e feijão. Nessa cultura, Sguario Jr. (2000) testou doses de K de 0 a 120 kg ha⁻¹ e

aplicação na linha (sulco) e a lanço no SPD, não obtendo diferenças entre as doses e formas de aplicação. Os tipos de solo em que foram instalados esses experimentos e sua mineralogia, também podem justificar estes resultados. Martins, Melo e Serrat (2004) observaram grande variação no potencial de fornecimento de K de formas não trocáveis para plantas de trigo em solos da região dos Campos Gerais no Paraná, que contribuíram com valores de até 54% do total absorvido pelas plantas.

Resultados obtidos com outros nutrientes considerados de pouca mobilidade no solo, também indicam maior eficiência da adubação a lanço em relação à aplicação em sulcos. Varvel (1983), por exemplo, observou que a aplicação de cobre (Cu) a lanço foi mais eficiente em corrigir a deficiência desse nutriente que a aplicação em sulco, concordando com Solberg et al. (1994). Para zinco (Zn), Galvão (1996) obteve maior produtividade de milho com a aplicação de $1,2 \text{ kg ha}^{-1}$ desse nutriente a lanço em relação à aplicação da mesma dose no sulco de semeadura. Esse autor percebeu que no efeito residual, após o revolvimento do solo, as duas formas de aplicação (lanço e sulco) foram semelhantes, atribuindo esse resultado ao aumento da quantidade de solo adubado com Zn, após o revolvimento, no tratamento com aplicação em sulco.

A aplicação de nutrientes pode ser realizada de forma a adubar o sistema, com posterior utilização pelas culturas. Goedert, Sousa e Lobato (1986), já citavam dados, onde as produtividades totais acumuladas, em experimentos de longa duração, foram semelhantes, nas mesmas doses de P aplicadas, ao comparar a aplicação em uma única vez no início do experimento, com aplicações anuais em sulcos na semeadura. Segundo estes autores, a quantidade de P aplicada é mais importante que a forma de aplicação. Aplicando-se P e K no trigo é possível diminuir ou eliminar a necessidade de aplicação desses nutrientes para a soja (LANTMANN et al., 1996), desde que sejam mantidos adequados os níveis no solo. Lantmann et al. (1997) observaram, em um LATOSSOLO com altos teores de P e de K, que na sucessão trigo/soja, a aplicação de 22 kg ha^{-1} de P e 25 kg ha^{-1} de K somente no trigo, foi suficiente para manter a produtividade semelhante ao tratamento que somou a adubação na soja (26 kg ha^{-1} de P e 83 kg ha^{-1} de K) e no trigo (22 kg ha^{-1} de P e 25 kg ha^{-1} de K) por quatro anos, sendo o principal efeito atribuído ao P. Pavinato e Ceretta (2004), seguindo essas

observações, obtiveram a mesma produtividade do milho quando o adubo dessa cultura foi aplicado no trigo cultivado anteriormente, em um LATOSSOLO com muito altos teores de P e de K. Nesse caso, a forma de aplicação do adubo no trigo, a lanço ou no sulco, não modificou as produtividades do milho. Buah, Polito e Killorn (2000) diferente do citado acima, observaram em áreas com mais de 10 anos de SPD e em rotação milho/soja, que a adubação anual, no milho e na soja, pode ser mais eficiente que a adubação com a dose total das duas safras aplicada apenas no milho e igual ou maior produtividade de soja quando o P e o K foram aplicados na superfície em relação à aplicação no sulco, em solos com altos teores de P e de K.

Resultados recentes indicam que no SPD é necessário aumentar da dose de N na semeadura (REEVES; WOOD; TOUCHTON, 1993, PAULETTI; COSTA, 2000, FONTOURA, 2005), especialmente quando a cultura antecessora for gramínea, o que demonstra a importância da presença desse nutriente no início do desenvolvimento das culturas responsivas.

2.2 VARIABILIDADE DA FERTILIDADE E AMOSTRAGEM DE SOLO EM FUNÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO

Normalmente, a aplicação de adubos para culturas anuais visa atender parte ou toda a demanda dos nutrientes N, P e K. Essa aplicação geralmente é realizada nos sulcos de semeadura utilizando mecanismos sulcadores do tipo disco duplo, que abre um sulco para deposição do adubo de aproximadamente 7 cm, e do tipo haste ou facão que produz um sulco de até 15 cm de profundidade, depositando o adubo abaixo da semente (COELHO, 1998).

Porém, a aplicação dos adubos em sulcos sem posterior revolvimento do solo, aumenta a variabilidade horizontal e vertical das características químicas do solo que são intensificadas pela concentração de nutrientes e matéria orgânica nas camadas superficiais, observação unânime em áreas sob SPD. Muzilli (1983), Pauletti et al. (1995), Holanda et al. (1998) e Pauletti et al. (2005), observaram maiores teores de P e

K nas camadas superficiais, com valores na camada de 0-10 cm superiores em 1,3 a 3,8 e 1,3 a 2,5 vezes em relação a camada de 10-20 cm, e 1,68 a 10,1 e 1,28 a 4,21 vezes em relação a camada de 20-30 cm, para P e K, respectivamente. Eltz, Peixoto e Jaster (1989) observaram maior acúmulo de P na camada de 0-8 cm e de K na camada de 0-6 cm, em tratamentos sem revolvimento do solo em relação àqueles que apresentaram pelo menos um preparo por ano. Porém, o preparo proporcionou maior uniformidade na distribuição do P no perfil, até a profundidade de 40 cm, sendo que para o K, o gradiente em profundidade foi semelhante entre os preparos. Merten e Mielniczuk (1991) também verificaram acúmulo de P e de K na camada de 0-5 cm, com valores maiores no SPD em relação ao sistema convencional com preparo do solo. Devido a essa concentração superficial dos atributos da fertilidade, algumas regiões no Brasil sugerem a coleta de amostras de solo na profundidade de 0-10 cm (COMISSÃO RS/SC, 2004), quando o objetivo é a recomendação de adubação e calagem em SPD consolidado. Essa profundidade é uma alteração em relação aos sistemas de cultivo com revolvimento do solo, onde é preconizada a coleta na profundidade de 0-20 cm em função da uniformização provocada nesta camada pelo revolvimento mecânico. No entanto, é possível que a metodologia de coleta recomendada para áreas com preparo do solo possa ser utilizada no SPD. Bordoli e Malarino (1998), ao avaliarem 11 ensaios de curta duração (uma safra) e 10 ensaios com duração de três safras, perceberam respostas a P somente quando os níveis desse nutriente estavam baixos e muito baixos na profundidade de 0-15 cm, concordando com a interpretação proposta para sistemas com preparo de solo. Para o K, esses autores sugerem mais estudos sobre técnicas de amostragem de solo para SPD, em função de observarem algumas respostas em áreas com teores altos e muito altos desse nutriente.

A variabilidade horizontal é maior para P e K sendo menor para o pH e para a matéria orgânica (MO) (SILVEIRA et al., 2000; ALVAREZ; GUARÇONI, 2003). Schlindwein e Anghinoni (2000) observaram menor variabilidade para o pH e teor de MO e maior variabilidade para P e K ao avaliarem oito áreas agrícolas, sendo que não houve relação entre tempo de cultivo sob SPD e teor no solo com a variabilidade dos

atributos avaliados. Souza, Cogo e Vieira (1998) observaram maior variabilidade horizontal dos teores de P, K e MO no SPD em relação ao preparo convencional com revolvimento do solo, preparo do solo com escarificador e pastagem, sendo essa variabilidade maior para P e K e menor para a MO. Essa variabilidade parece estar relacionada principalmente com a aplicação de adubos em pequenas porções do solo ou em sulcos de semeadura (KITCHEN; HAVLIN; WESTFALL, 1990; KLEPKER; ANGHINONI, 1995b), cujos efeitos residuais são dependentes da dose de nutriente utilizada e do tipo de solo. Stecker e Brown (2001) observaram efeito residual por até sete anos para uma dose aplicada de 10 kg ha^{-1} de P no sulco, com teores maiores que duas vezes em relação ao solo adjacente. A concentração de K no sulco de desenvolvimento das plantas também pode ocorrer pela deposição desse nutriente proveniente da lavagem da parte aérea das plantas, conforme dados apresentados por Klepker e Anghinoni (1995b). Percebe-se então, que a participação na amostra da porção de solo adubado com P e K tende a aumentar o teor desses nutrientes na análise, como foi observado por Vasconcellos et al. (1982). Esses autores sugeriram, em caso de área sob preparo convencional, a coleta de amostras após a aração e gradagem para diminuir o erro amostral.

Diversos estudos foram realizados para definir a melhor forma de coleta de solo no SPD, por área a ser amostrada. Kitchen, Havlin e Westfall (1990) sugeriram a coleta pareada que consiste em coletar uma amostra na linha de semeadura (onde foi depositado o adubo) para cada 20 amostras na entrelinha para espaçamento de semeadura de 76 cm ou para cada oito amostras na entrelinha para espaçamentos de 30 cm, para compor uma amostra composta. Quando não for conhecida a localização da linha de semeadura, coletar a primeira amostra ao acaso e a segunda a uma distância dessa primeira de 50% do espaçamento entrelinhas de deposição do adubo ou das linhas de semeadura, perpendicularmente ao sentido de semeadura. Schlindwein e Anghinoni (2000), utilizando pá de corte para coleta de fatias de 5 cm de espessura por 10 cm de largura, quando o adubo foi aplicado a lança e para coleta de fatias de solo de 5 cm de espessura pela largura da entrelinha do último cultivo, ambos com 10 cm de profundidade, observaram que o número de 20 sub-amostras por área a ser

amostrada, foi suficiente para representar o teor do solo, considerando um erro de 20% em relação à média. Considerando um erro de 10% em relação à média, o número de sub-amostras obtidos por estes autores seria de oito para MO e pH, 42 para K e 51 para P. A COMISSÃO RS/SC (2004) recomenda em áreas a serem amostradas e com adubação a lanço, a coleta de 15 a 20 pontos de 3 a 5 cm de espessura, com largura de 7 a 10 cm; e para áreas com adubação em linha, a coleta de aproximadamente 15 pontos de 3 a 5 cm de espessura pela largura do espaçamento de semeadura da cultura anterior a coleta, utilizando pá de corte. Alternativa a essa forma de coleta foi apresentada por Nicolodi, Anghinoni e Salet (2002), substituindo a pá de corte por trado do tipo calador, obtendo vantagem em diminuir a quantidade de solo manipulada. Nesse caso, seria coletada uma amostra na linha de semeadura para cada uma, três e seis amostras de cada lado da linha de semeadura, para trigo, soja e milho, respectivamente, em 16, 10 e 19 locais (subamostras) por gleba, respectivamente.

3. MATERIAL E MÉTODOS GERAL

Este trabalho foi desenvolvido no Campo Demonstrativo e Experimental (CDE) pertencente à Fundação ABC em Castro, PR (Figura 1), Primeiro Planalto Paranaense, latitude 24°51'44,35'' S, longitude 49°56'0,40''W e altitude de 1030 m, sul do Brasil. Pela classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfb (IAPAR, 2005). Na Tabela 1 são mostrados os valores médios mensais de temperatura dos anos em que foi desenvolvido o trabalho e dos últimos 30 anos. As temperaturas médias históricas dos meses mais frios variaram entre 12,4°C a 14,2°C e nos meses mais quentes entre 17,5°C a 20,4°C, e a temperatura média anual foi de 16,2°C. Durante o desenvolvimento do trabalho, as temperaturas médias variaram entre 14,3 e 17,3°C nos meses mais frios e entre 20,6 e 22,5°C nos meses mais quentes, com média anual de 19°C.

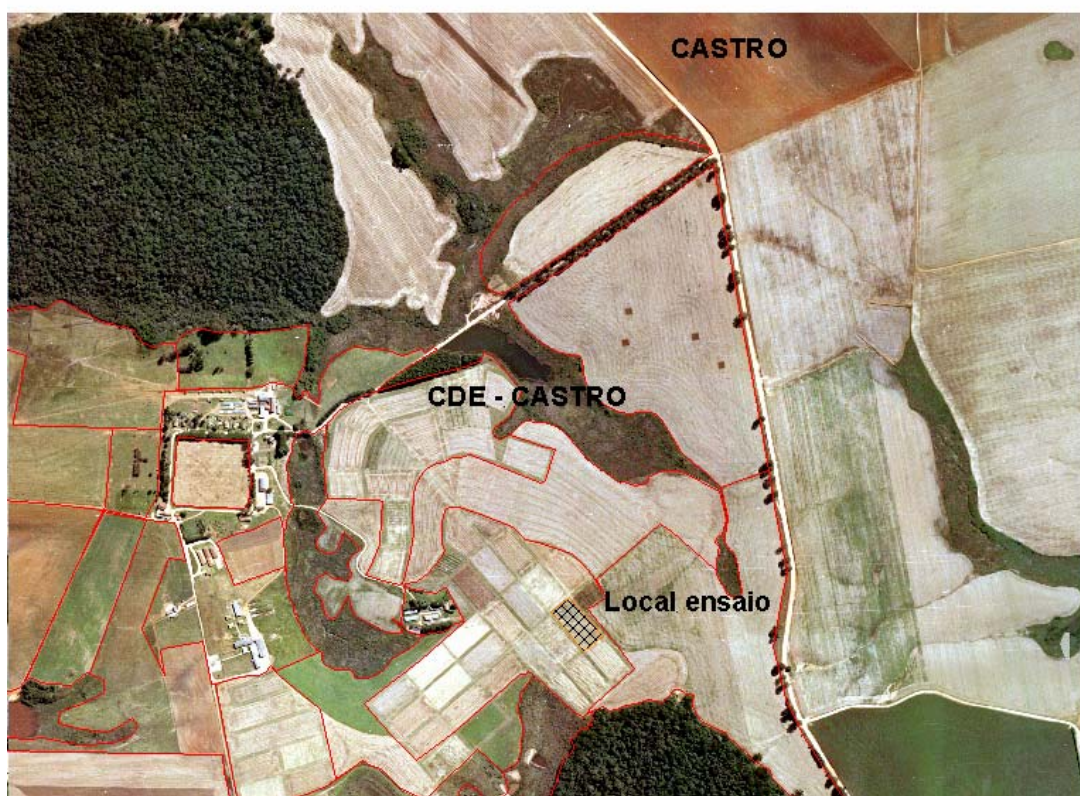


FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO NO CAMPO DEMONSTRATIVO E EXPERIMENTAL (CDE) DA FUNDAÇÃO ABC – CASTRO, PR.

TABELA 1 - TEMPERATURA MÉDIA MENSAL DOS ANOS 1998 A 2005 E MÉDIA DOS ÚLTIMOS 30 ANOS, EM CASTRO, PR – DADOS INTERNOS FUNDAÇÃO ABC.

Mês	Ano								Média	
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	Média	30 anos
Jan	23,4	22,5	22,0	22,6	21,9	22,8	22,6	22,4	22,5	20,4
Fev	22,6	22,6	21,5	23,0	21,4	23,8	23,0	23,5	22,7	19,8
Mar	21,3	22,4	20,5	22,9	23,4	22,6	22,4	24,7	22,5	19,6
Abr	19,4	19,0	19,1	20,8	22,2	21,1	21,2	22,6	20,7	17,1
Mai	15,4	13,9	15,4	15,0	17,0	16,8	16,0	19,3	16,1	14,2
Jun	13,4	13,1	15,9	13,1	16,4	17,6	16,2	18,2	15,5	12,5
Jul	14,6	14,4	11,4	14,2	13,8	15,7	16,1	17,0	14,6	12,4
Ago	16,7	15,1	14,3	16,1	17,1	14,9	18,8	18,8	16,5	13,7
Set	16,1	17,7	16,3	16,2	16,2	18,2	21,8	16,0	17,3	14,1
Out	17,9	17,6	21,0	18,9	21,3	19,5	19,9	20,0	19,5	16,3
Nov	19,9	18,3	20,7	20,5	20,8	21,2	21,5	21,5	20,6	16,6
Dez	21,7	20,6	21,7	20,6	22,1	21,6	22,7	22,3	21,7	17,5
Média	18,5	18,1	18,3	18,7	19,5	19,7	20,2	20,5	19,0	16,2

Na Tabela 2 são mostrados os valores médios mensais de precipitação dos anos em que foi desenvolvido o trabalho e dos últimos 30 anos. A pluviosidade média anual dos últimos 30 anos foi de 1573 mm, sendo que a média nos quatro meses mais secos variou entre 84 a 116 mm, e nos quatro mais chuvosos entre 142 a 193 mm, não havendo uma estação seca definida. A precipitação média ocorrida durante os meses nos anos de desenvolvimento das culturas avaliadas (setembro a março) variou entre 134 e 213 mm, com um total nestes meses que variou entre 934 mm na safra 1999/00 a 1455 mm na safra 1998/99, com uma média de 1344 mm.

O solo local é caracterizado como LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico, A proeminente, textura argilosa, fase campo subtropical, com relevo suave ondulado (EMBRAPA/Fundação ABC, 2001). Foram coletadas amostras de solo antes da implantação do experimento e analisadas segundo método descrito por Raij et al. (1987). Para interpretação dos resultados das análises de solo foram utilizados os parâmetros apresentados por Raij et al. (1996). Portanto, a área apresentou no início do experimento teor alto de fósforo (P) extraído por resina (alto – 41 a 80 mg dm⁻³) e médio de potássio (K) (médio – 1,6 a 3 mmol_c dm⁻³), considerando a camada de 0-20

cm (Tabela 3), com maiores valores nas camadas superficiais. A área estava sob sistema plantio direto (SPD) há mais de 10 anos, com visível variação vertical dos atributos químicos.

TABELA 2 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA MÉDIA MENSAL DOS ANOS 1998 A 2005 E MÉDIA DOS ÚLTIMOS 30 ANOS, EM CASTRO, PR – DADOS INTERNOS FUNDAÇÃO ABC.

Mês	Ano								Média 30 anos
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	
Jan	267	227	120	193	213	181	261	245	193
Fev	270	229	313	275	113	200	104	34	156
Mar	458	121	104	141	68	152	185	63	142
Abr	196	103	19	72	29	145	228	103	111
Mai	67	91	45	176	192	44	328	160	125
Jun	97	83	153	171	9	42	97	111	127
Jul	76	144	92	127	68	115	173	70	90
Ago	183	5	141	73	119	24	18	67	84
Set	334	110	174	114	201	87	88	285	126
Out	236	78	185	265	185	120	256	258	146
Nov	28	76	172	144	214	215	128	95	116
Dez	177	113	215	174	149	235	162	48	158
Total	2388	1382	1733	1925	1558	1558	2027	1539	1573

TABELA 3 – CARACTERÍSTICAS QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DA ÁREA, ANTES DO INÍCIO DO EXPERIMENTO (1998).

cm	pH	P ⁽¹⁾	CO ⁽²⁾	K	Ca	Mg	V	m ⁽³⁾	Argila ⁽⁴⁾	Areia ⁽⁴⁾	Silte ⁽⁴⁾
cm	CaCl ₂	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	—	mmolc	dm ⁻³	—	%	—	g kg ⁻¹	—
0-5	5.9	122	38	4,0	66	39	78	0	607	136	257
5-10	5.4	43	34	2,6	56	32	64	0	622	136	242
10-30	5.1	11	28	1,4	34	16	47	1,9	627	150	223
0-20	5,2	51	30	2,2	43	30	60	0	616	131	253

⁽¹⁾Resina trocadora de íons; ⁽²⁾Carbono Orgânico; ⁽³⁾Saturação por alumínio; ⁽⁴⁾Método da pipeta.

Dois ensaios foram conduzidos simultaneamente, um ao lado do outro, durante as safras 1998/99 a 2004/05. O objetivo de conduzir o trabalho em duplicata foi diminuir os efeitos das variáveis climáticas, pois foram cultivadas em cada ano duas das culturas teste. A rotação de culturas adotada foi aveia preta (*Avena strigosa*

L.)/soja (*Glycine max*, L. Merr.)/aveia preta/milho(*Zea mays*, L.)/trigo (*Triticum aestivum* L.)/feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), sendo que o trabalho iniciou com a soja em um dos ensaios e com o milho em outro. Na Figura 2 é apresentado, de forma esquemática, a rotação de culturas de inverno e de verão adotada nos dois ensaios. O milho XL 214, utilizado em todas as safras, caracteriza-se por ser um híbrido simples precoce, de sistema radicular bom, exigindo um alto nível de investimento em insumos (DEKALB, 2006). A cultivar de soja utilizada foi a BRS 133, caracterizada por ser semi-precoce, de crescimento determinado, com ciclo total próximo a 143 dias, e que pode ser semeada em solos de baixa a média fertilidade (EMBRAPA, 2006). A variedade de feijão empregada foi a carioca comum, tipo III, hábito indeterminado, prostrado, grupo diversos, com ciclo médio de 90 dias (ALMEIDA, LEITÃO FILHO; MIYASAKA, 1977).

Safra	98	1998/99	99	1999/00	00	2000/01	01	2001/02	02	2002/03	03	2003/04	04	2004/05
Ensaio1	Ap ⁽¹⁾	Soja	Ap	Milho	Tr	Feijão	Ap	Soja	Ap	Milho	Tr	Feijão	Ap	Soja
Ensaio 2	Ap	Milho	Tr	Feijão	Ap	Soja	Ap	Milho	Tr	Feijão	Ap	Soja	Ap	Milho

⁽¹⁾Culturas de inverno: Ap= aveia preta; Tr= trigo

FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA DISTRIBUIÇÃO DAS CULTURAS NAS ROTAÇÕES DURANTE O DESENVOLVIMENTO DOS ENSAIOS.

Foram avaliadas cinco safras de milho, quatro de soja e quatro de feijão. Na safra de 2000/01 os dados da soja não foram considerados por problemas de população de plantas, por isso, conduziu-se o ensaio na safra 2004/05, possibilitando a análise de quatro safras dessa cultura. A safra de milho 2004/05 foi utilizada também para as avaliações de crescimento da cultura. O espaçamento entre as linhas foi de 0,8 m para o milho e 0,4 m para a soja e feijão. A semeadura do milho foi realizada em 10/10/1998, 29/09/1999, 11/10/2001, 28/09/2002 e 22/10/2004, da soja em 03/11/1998, 27/11/2001, 11/12/2003 e 25/11/2004, e do feijão em 21/12/1999, 07/12/2000, 27/12/2002 e 05/01/2004.

Em cada ensaio foram utilizados os mesmos tratamentos (Tabela 4), contemplando fontes de P, mecanismos sulcadores e formas e épocas de aplicação do adubo mineral, tendo sido aplicados nitrogênio (N), P e K para milho e feijão e somente P e K para a soja. No milho, junto com esses nutrientes, foi aplicado 3 kg ha^{-1} de zinco (Zn). Não fazendo parte dos tratamentos, foi aplicado em V3/V4 no milho e no feijão, a lanço e sem incorporação, com exceção do tratamento 10, 90 e 35 kg de N ha^{-1} , respectivamente. Como fonte de N, P, K e Zn utilizou-se a uréia, o superfosfato triplo (SFT), o cloreto de potássio (KCl) e o sulfato, respectivamente, com exceção do tratamento 4 onde foi aplicado fosfato natural em substituição ao SFT e do tratamento 10, sem adubação. O tratamento 10, sem aplicação de nutrientes, foi adicionado para avaliar a resposta das culturas à adubação. O fosfato natural utilizado foi o Carolina do Norte até a safra 2001/02 e após essa safra o fosfato de Gafsa, ambos na forma farelada, sendo considerado o teor total de P para o cálculo da quantidade a ser aplicada. Imediatamente antes da aplicação, procedeu-se a mistura dessas fontes para a obtenção da quantidade de nutriente necessária por hectare para aplicação no sulco de semeadura para cada cultura (Tabela 5), de acordo com os tratamentos. Neste trabalho, as quantidades de nutrientes são fornecidas em P e K e não nas formas de óxidos (P_2O_5 e K_2O). Os mecanismos sulcadores foram o do tipo haste da semeadora da empresa Semeato (Figura 3), também conhecido como guilhotina[®] (SEMEATO, 2006), com medidas de 2,5 cm na ponteira, 4,0 cm na maior largura da haste e 11,0 cm de profundidade de trabalho e o do tipo disco duplo defasado (Figura 3) composto por dois discos, sendo um de 339 mm (14") e outro de 363 mm (15"). Os dois mecanismos sulcadores trabalharam alinhados ao sulco de deposição das sementes, sendo que no primeiro o adubo foi colocado a aproximadamente 5 a 6 cm abaixo da semente, enquanto no segundo (disco duplo), o adubo foi depositado entre 2 a 3 cm abaixo das sementes.

TABELA 4 - ÉPOCA E FORMA DE APLICAÇÃO DOS NUTRIENTES E MECANISMOS SULCADORES POR TRATAMENTO.

Tratamento	Época e forma de aplicação do nutriente ⁽¹⁾			Mecanismo sulcador		
	Inverno ⁽²⁾		Verão	Soja	Milho	Feijão
	Lanço	Sulco				
1	NPK	-	-	Disco duplo	Haste	Haste
2	P	NK	-	Disco duplo	Haste	Haste
3	P	-	NK	Disco duplo	Haste	Haste
4	P - FN ⁽⁴⁾	NK	-	Disco duplo	Haste	Haste
5	-	NPK	-	Disco duplo	Disco duplo	Disco duplo
6	-	NPK	-	Haste	Haste	Haste
7	-	NPK ⁽⁵⁾	-	Disco duplo	Haste	Haste
8	-	-	NPK	Disco duplo	Haste	Haste
9	-	NP	K	Disco duplo	Haste	Haste
10	-	-	-	Disco duplo	Haste	Haste

⁽¹⁾Na soja não foi aplicado N; ⁽²⁾Imediatamente antes da semeadura da cultura de inverno, sem incorporação;

⁽³⁾Imediatamente após a semeadura da cultura de verão; ⁽⁴⁾Fosfato natural Carolina do Norte até a safra 2001/02 e posteriormente Gafsa; ⁽⁵⁾Aplicado em faixa sobre a linha de semeadura.

TABELA 5 - QUANTIDADE DE NUTRIENTES APLICADA E CULTIVARES PARA CADA CULTURA.

Cultura (cultivar)	N ⁽¹⁾	P (P ₂ O ₅)	K (K ₂ O)	Zn
	----- kg ha ⁻¹ -----			
Milho (XL 214)	30	26 (60)	50(60)	3
Soja (EMBRAPA 133)	00	18 (40)	33(40)	
Feijão (Carioca comum)	30	26(60)	33(40)	

⁽¹⁾Aplicação de 90 e 35 kg ha⁻¹ de N em cobertura à lanço no estágio V3/V4 da cultura, para milho e feijão, respectivamente, com exceção do tratamento 10.

A adubação do trigo, cultivado no inverno com semeadura no espaçamento entrelinhas de 0,17 m, foi realizada seguindo-se os tratamentos de verão, porém utilizando sempre o mecanismo sulcador do tipo disco duplo. A aplicação do adubo de inverno, descrita na Tabela 4, foi realizada manualmente a lanço antes da semeadura do próprio trigo. O uso do disco duplo em todos os tratamentos se deve à impossibilidade de equipar a semeadora utilizada com o mecanismo sulcador do tipo haste e por ser o disco duplo, o mecanismo utilizado de forma unânime na região do estudo para a semeadura do trigo. A aplicação, no inverno, dos nutrientes das culturas de verão, para os tratamentos 1, 2, 3 e 4 (Tabela 4), também foi feita a lanço, antes da semeadura do trigo. A adubação do trigo baseou-se na reposição dos nutrientes P e K

exportados pela colheita de 3,2 e 3,5 kg por tonelada de grãos, respectivamente, seguindo-se os valores apresentados por Pauletti (1998), mais a aplicação de 110 kg ha⁻¹ de N, sendo 20 kg ha⁻¹ na adubação de semeadura e 90 kg ha⁻¹ no perfilhamento. A aveia preta somente foi adubada no caso de aplicação dos adubos das culturas de verão, de acordo com os tratamentos (Tabela 4).

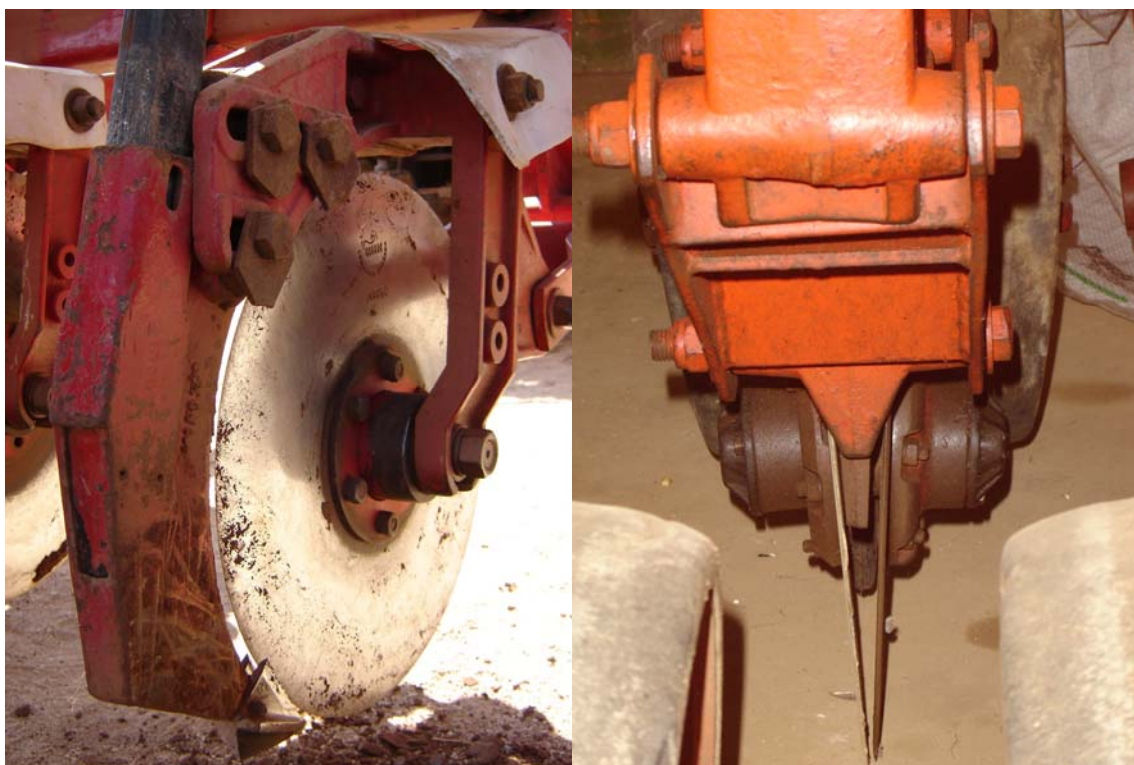


FIGURA 3 – VISUALIZAÇÃO DO MECANISMO SULCADOR TIPO GUILOTINA (ESQUERDA) E DISCO DUPLO (DIREITA).

O delineamento experimental foi de blocos completos ao acaso com quatro repetições e 10 tratamentos. O tamanho de cada unidade experimental (parcela) foi de 5,55 x 12,5 m, sendo considerada área útil, 3,2 x 8,5 m, ou seja, 27,2 m². A semeadura foi realizada sempre no sentido do maior comprimento da parcela, sem controle do posicionamento das linhas de semeadura em relação aos cultivos anteriores. Todas as avaliações foram realizadas na área útil da parcela. A produtividade do trigo foi avaliada apenas para posterior cálculo da exportação de nutrientes, colhendo-se nove linhas de cinco metros.

Nas culturas do milho, soja e feijão foram feitas determinações de produtividade de grãos, massa de mil grãos, número final de plantas e altura de plantas, além de número final de espigas em milho, altura de inserção de vagem em soja ou de espiga em milho. Também foi determinada a matéria seca em sete datas e área foliar em cinco datas durante o desenvolvimento do milho na última safra (2004/05) com posterior cálculo do índice de área foliar, taxa de crescimento relativo e taxa assimilatória líquida ou aparente. Foram realizadas coletas de amostras de solo nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 cm nos anos 2001 e 2004 (um e dois ciclos da rotação de culturas adotada, respectivamente). Em 2004, também foram feitas coletas nas profundidades 0-10 e 0-20 cm utilizando duas metodologias, denominadas de linha (Figura 4) e entrelinha, utilizando trado do tipo calador (Figura 4). As análises estatísticas foram realizadas conforme proposto por Montgomery (2001), utilizando-se o programa R 2.1.1 (R DEVELOPMENT, 2005).



FIGURA 4 – VISUALIZAÇÃO DA COLETA DE AMOSTRAS DE SOLO COM A INCLUSÃO DA LINHA DE SEMEADURA (DIREITA) E TRADO DO TIPO CALADOR (ESQUERDA) UTILIZADO PARA AMOSTRAGEM.

4 CAPÍTULO 1 - PRODUTIVIDADE DE SOJA, MILHO E FEIJÃO EM FUNÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO NO SISTEMA PLANTIO DIRETO

4.1 RESUMO

A dinâmica e a distribuição dos nutrientes são influenciadas pelo sistema plantio direto, podendo alterar a resposta das culturas aos métodos de aplicação de adubo. Foram conduzidos a campo no sul do Brasil, entre os anos de 1998 e 2005, dois experimentos em um Latossolo Bruno com alto teor de fósforo e médio teor de potássio. O objetivo foi avaliar estratégias de aplicação de adubo de semeadura sobre a produtividade de milho (*Zea mays*, L.), soja (*Glycine max*, L. Merr.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Em cada ensaio, um iniciando com soja e outro com milho, dois ciclos da rotação aveia preta (*Avena strigosa* L.)/soja/aveia preta/milho/trigo (*Triticum aestivum* L.)/feijão foram avaliados. Aplicaram-se 10 tratamentos contemplando fontes de fósforo (fosfato natural e superfosfato triplo), mecanismos sulcadores (disco duplo e haste), formas (sulco e superfície) e épocas (inverno e verão) de aplicação dos nutrientes, além de um tratamento sem adubação. A cultura da soja não responde à adubação com fósforo (P) e potássio (K) por pelo menos sete anos quando os teores de P são altos e os de K médios no solo. O milho e o feijão respondem à adubação de semeadura contendo nitrogênio (N), P e K, que pode ser realizada no sulco ou a lanço, na safra anterior ao cultivo ou na safra de cultivo e utilizando mecanismo sulcador tipo disco duplo ou do tipo haste. Para as culturas e doses utilizadas, tanto o N quanto o K podem ser aplicados no sulco de semeadura. O uso de fosfato natural proporciona às culturas avaliadas a mesma produtividade que o superfosfato triplo.

4.2 ABSTRACT

Soil nutrient dynamics and its distribution are influenced by the no tillage system allowing the change on nutrient methods of application. Two field experiments were conducted from 1998 to 2005 on a Haplohumox soil, with high levels of phosphorus (P) and medium levels of potassium (K) with the purpose of evaluate strategies to apply starter fertilizer in no tillage and its effect on corn (*Zea mays*, L.), soybean (*Glycine max*, L. Merr.) and dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) yields in southern of Brazil. One of the experiments begun with soybean and the other with corn. Two cycles of the crop rotation black oats (*Avena strigosa* L.) / soybean / black oats / corn / wheat (*Triticum aestivum* L.) / dry bean were accompanied. Ten treatments including two P sources (rock phosphate and triple superphosphate), row preparation components (double disc opener and coulter opener), position of fertilizer placement (in-furrow and broadcast) and time of application (summer and winter) were tested. Soybean yield did not increase with the application of P and K for at least seven seasons when cultivated in soils that had high level of P and medium K. The mayze and the dry bean yield increased with the application of nitrogen (N), P and K, and that could be accomplished by row or broadcast application, in the winter previous to the cultivation or in the summer of cultivation and using double disc opener or coulter opener. For the crops and used rates, N and K can be applied in-furrow. The use of rock phosphate provides the same yield that the triple superphosphate.

4.3 INTRODUÇÃO

A aplicação de adubos de base nas culturas da soja, feijão e milho, geralmente é realizada em sulcos, junto com a operação de semeadura. Essa estratégia aumenta, além do custo, o tempo necessário para a semeadura, o que pode implicar em dificuldades de aproveitamento da umidade do solo e da época mais adequada para essa operação, exigindo maior número de máquinas e implementos e concentração do esforço da mão de obra.

Os mecanismos sulcadores mais comumente utilizados para a incorporação de adubo no plantio direto são o disco duplo e a haste, esse último também chamado de facão. O uso de disco duplo exige menor demanda de força de tração, mobiliza menos solo, mantém maior cobertura do solo e proporciona menor consumo de combustível (COELHO, 1998; SILVA, 2003). Em relação ao disco duplo, o uso da haste apresenta maior capacidade de rompimento do solo, o que reduz a densidade do solo e a resistência à penetração na linha de semeadura (MELLO; TAKAHASHI; YANO, 2002), preocupações comuns em áreas manejadas sob plantio direto. O disco duplo produz um sulco com profundidade até 7 cm, enquanto a profundidade do sulco produzido pelo mecanismo tipo haste pode atingir até 15 cm de profundidade, depositando o adubo abaixo da semente (COELHO, 1998).

Os efeitos benéficos da aplicação localizada de adubos são observados principalmente nas fases iniciais de desenvolvimento das culturas, mas nem sempre se reflete em aumento de produtividade (ANGHINONI, 1992; SILVA et al., 1993; BORDOLI; MALLARINO, 1998; MALLARINO; BORDOLI; BORGES, 1999; KAISER; MALLARINO; BERMUDEZ, 2005). Geralmente os aumentos de produtividade com a aplicação de adubo no sulco ocorrem quando os teores de fósforo (P) e potássio (K) são baixos no solo (YIBIRIN; JOHNSON; ECKERT, 1993; PRADO; FERNANDES; ROQUE, 2001), mas podem ocorrer em áreas com teor alto ou muito alto (GORDON, 1999; BUNDY; ANDRASKI, 2001), nesse caso, também chamada de adubação de arranque.

A distribuição do P e do K em sulcos aumenta de forma localizada a concentração desses nutrientes e estimula o crescimento radicular na região adubada (CHAIB; BULISANI; CASTRO, 1984; KASPAR; BROWN; KASSMEYER, 1991; MULLINS et al., 1994; KLEPKER; ANGHINONI, 1995a), favorecendo a absorção pelas plantas e diminuindo a possibilidade de fixação pelos colóides do solo. Isto justifica a vantagem da aplicação do adubo em sulcos quando ocorrem períodos de deficiência hídrica (BORGES; MALLARINO, 2000; BROCH; CHUEIRI, 2005). Além da fixação e da deficiência hídrica, baixas temperaturas e umidade excessiva durante o desenvolvimento das culturas podem inibir a absorção de P e K, por diminuir o crescimento radicular ou a taxa de difusão, essencial para a absorção desses nutrientes. Assim, o clima pode ter importância nas respostas das culturas à estratégia de adubação, sendo importante o estabelecimento de estudos de longa duração, como o desenvolvido por Howard, Essington e Logan (2002), que estudaram durante 11 anos a aplicação de P a lanço, complementada ou não com aplicação no sulco tanto em sistema plantio direto (SPD) quanto com preparo do solo.

A aplicação de nutrientes a lanço na superfície tem proporcionado produtividades semelhantes à aplicação no sulco em várias culturas (OLIVEIRA et al., 1992; KOCHHANN; DENARDIN; FAGANELLO, 1998; BORDOLI; MALLARINO, 1998; BORGES; MALLARINO, 2000; HECKMAN; KAMPRATH, 1992; SGUÁRIO Jr., 2000) ou mesmo superior (BUAH; POLITO; KILLORN, 2000), especialmente no SPD. Vários fatores dão suporte para justificar esses resultados no SPD. Dentre eles pode-se citar as menores perdas de solo, água e nutrientes pela erosão (COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003; GUADAGNIN et al., 2005) e o aumento da concentração de nutrientes e matéria orgânica nas camadas superficiais (ECKERT; JOHNSON, 1985; MERTEN; MIELNICZUK, 1991; PAULETTI et al., 1995). Também, a grande concentração de raízes nos primeiros centímetros da camada superficial no SPD (YIBIRIN; JOHNSON; ECKERT, 1993) aumenta a possibilidade de absorção dos nutrientes aplicados ou acumulados nessa camada. Outro fator observado nesse sistema é o aumento do número de hifas e esporos de micorriza

(KABIR et al, 1998), que pode ainda aumentar a rapidez da absorção de nutrientes na fase inicial de estabelecimento da cultura.

Alguns resultados evidenciam que é possível diminuir ou eliminar a adubação com P e K em uma cultura, desde que os nutrientes sejam aplicados em outra e mantidos os níveis altos no solo (LANTMANN et al., 1996; LANTMANN et al., 1997; PAVINATO; CERETTA, 2004), ou seja, a adubação visa a rotação de culturas e não especificamente uma cultura incluída na rotação. No entanto, a resposta à forma de aplicação pode variar de cultura para cultura. Pöttker (1999), trabalhando em solo com teor médio de P, verificou que a aplicação no sulco foi mais eficiente para o trigo, sem obter diferença entre essa forma de aplicação e a aplicação a lanço na aveia branca (*Avena sativa*, L.) e na soja.

Resultados recentes indicam a necessidade de aumento da dose de nitrogênio (N) no sulco de semeadura do milho (SÁ, 1995b; FONTOURA, 2005), especialmente quando a cultura antecessora for gramínea. No milho, a aplicação de todo o N antes ou no momento da semeadura tem sido freqüentemente relatada com eficiência similar à aplicação em cobertura após a emergência das plantas (REEVES; WOOD; TOUCHTON, 1993, PAULETTI; COSTA, 2000), embora esta estratégia esteja limitada pelo potencial de lixiviação de N-NO_3^- de cada região, conforme sugerem os dados de vários trabalhos resumidos por Fontoura (2005). O aumento da dose de N no sulco de semeadura não tem apresentado restrição quanto a danos nas sementes até 120 kg de N ha^{-1} (FONTOURA et al., 1999; TESSARO et al., 2000). Todavia, a retirada de K do sulco de semeadura visando evitar danos na semente e nas raízes por efeito salino, tem sido recomendada quando as doses ultrapassem 42 kg K ha^{-1} na forma de KCl (FANCELLI; DOURADO NETO, 2005).

O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito de estratégias de aplicação de adubo de semeadura, por um longo período, sobre a produtividade de grãos e seus componentes em milho, soja e feijão em rotação e no sistema plantio direto.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

As informações referentes ao local e ao experimento estão descritas no item 3 (Material e Métodos Geral) .

As produtividades de milho, soja e feijão foram obtidas pela colheita de quatro linhas de cinco metros, pesagem e correção para 13% de umidade, transformando para hectare. A massa de mil grãos foi obtida através da contagem e pesagem de 250 grãos obtidos após o processamento das amostras para determinação da produtividade, com posterior correção para 13% de umidade e multiplicação por quatro. O número final de plantas de milho, soja e feijão e de espigas de milho foi obtido pela contagem no momento da colheita das plantas e espigas da área colhida e posterior transformação para hectare.

As alturas de inserção de vagem em soja ou de espiga em milho foram determinadas no momento da colheita, medindo-se a distância entre o solo e a inserção da primeira vagem na haste principal (soja) ou da primeira espiga (milho) em cinco plantas na seqüência em duas linhas, totalizando 10 plantas por parcela, enquanto que a altura de planta foi obtida medindo-se a distância entre o solo e a inserção da última folha (no caso da soja, na haste principal) nas mesmas plantas em que foram determinadas as alturas de inserção de vagem e de espiga.

Antes da análise estatística foram eliminados os dados discrepantes (outliers), identificados através do critério da distribuição normal padrão, utilizando o critério de mais ou menos três desvios padrões, segundo Montgomery (1991). Para o tratamento estatístico dos dados, procedeu-se a análise de variância individual por ano e cultura, utilizando-se o delineamento em blocos completos ao acaso. Em caso de análise de variância significativa, aplicou-se o teste de Scheffé para avaliação dos contrastes (MONTGOMERY, 2001). Considerou-se um nível de significância de 5%. Os contrastes constam na Tabela 6. As análises estatísticas foram realizadas no programa R 2.1.1 (R DEVELOPMENT, 2005).

TABELA 6 - CONTRASTES UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DOS DADOS EXPERIMENTAIS E OBJETIVOS.

Contraste	Objetivo	Tratamentos ⁽¹⁾
I	Avaliar o efeito da aplicação de adubo	1,2,3,4,5,6,7,8,9 vs 10
II	Avaliar a aplicação de adubo a lanço no inverno em relação à aplicação a lanço no verão	1 vs 8
III	Com a aplicação de P no inverno, comparar a aplicação de NK no inverno com NK no verão	1 vs 3
IV	Com a aplicação de P no inverno, comparar a aplicação de NK no sulco com NK a lanço no verão	2 vs 3
V	Comparar P de fosfato natural com P solúvel	2 vs 4
VI	Comparar NPK no sulco com NPK fora do sulco no verão	5,6 vs 7,8
VII	Comparar mecanismos sulcadores disco duplo e haste	5 vs 6
VIII	Avaliar aplicação de K no sulco em relação a K fora do sulco	5 e 6 vs 9
IX	Comparar NPK em faixa com NPK lanço	7 vs 8

⁽¹⁾Aplicação de N, P, K: 1= Imediatamente antes da semeadura da cultura de inverno, sem incorporação; 2= P como em 1 e N e K no sulco de semeadura de verão; 3= P como em 1 e N e K a lanço imediatamente antes da semeadura de verão; 4= idem ao 2, substituindo fosfato solúvel por fosfato natural; 5= N, P e K no sulco de semeadura de verão com sulcador do tipo disco duplo; 6= idem 5, utilizando sulcador do tipo haste; 7= N, P e K em faixa sobre a linha de semeadura; 8= N, P e K a lanço imediatamente após a semeadura de verão; 9= N e P no sulco de semeadura de verão e K a lanço imediatamente após a semeadura de verão e; 10= sem aplicação de N, P e K.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a cultura da soja, os efeitos dos tratamentos ocorreram somente sobre a população de plantas nas safras de 1998/99 e 2003/04 e sobre a massa de mil grãos (MMG) em 2003/04 (Tabela 7), porém, as análises de contrastes feitas para essa cultura, não apresentaram significância em todos os anos para produtividade (Tabela 8) e demais variáveis (dados não apresentados).

TABELA 7 - P-VALORES DAS ANÁLISES ESTATÍSTICAS EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS, PARA AS CULTURAS DA SOJA, MILHO E FEIJÃO.

Cultura	Safrá						
	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05
Soja ⁽¹⁾							
Prod	0,56	-	-	0,07	-	0,57	0,50
MMG	0,79	-	-	0,60	-	0,03*	0,12
Npla	0,0008***	-	-	0,08	-	0,04*	0,16
Altp	0,07	-	-	-	-	-	-
Altin	0,88	-	-	-	-	-	-
Milho							
Prod	2,8e-06***	3,2e-09***	-	5,8e-08***	3,4e-10***	-	-
MMG	0,003**	0,001**	-	0,002**	1,8e-09***	-	-
Npla	0,000003***	0,49	-	0,003**	0,89	-	-
Nesp	1,0e-05***	0,03*	-	0,12	0,84	-	-
Altp	-	0,0002***	-	-	8,1e-06***	-	-
Altesp	-	1,4e-05***	-	-	0,0001***	-	-
Feijão							
Prod	-	8,9e-06***	0,03*	-	0,10	0,03*	-
MMG	-	0,26	0,03*	-	0,53	0,08	-
Npla	-	0,04*	0,07	-	0,005**	0,002**	-

⁽¹⁾Prod: Produtividade; MMG: massa de mil grãos; Npla: plantas por ha; Nesp: espigas por ha; Altp: altura de plantas; Altin: altura de inserção vagem; AltEsp: altura inserção espiga; MS1 e MS2: matéria seca de 3 plantas aos 35 e 47 dias após emergência, respectivamente.

P-valor: * <0,05; ** <0,01; ***<0,001.

As produtividades obtidas são altas (Tabela 8, Anexo 1), comparando-se com as médias do Estado do Paraná que variaram entre 2,55 e 2,88 Mg ha⁻¹ para as mesmas safras deste trabalho (CONAB, 2006), e com a produtividade regional das últimas três safras deste trabalho que variou entre 2,36 e 3,04 Mg ha⁻¹ (SEAB, 2006). O clima foi favorável ao desenvolvimento da cultura (Tabelas 1 e 2), com uma pequena limitação hídrica em fevereiro de 2005, durante a fase reprodutiva da soja, fato que

possivelmente contribuiu para que a média da produtividade na safra 2004/05 tenha sido inferior em relação às demais.

TABELA 8 - EFEITO DA APLICAÇÃO DE ADUBO SOBRE A PRODUTIVIDADE (Mg ha^{-1}) DE SOJA, MILHO E FEIJÃO (CONTRASTES UTILIZANDO O TESTE DE SCHEFFÉ).

Cultura	Contraste ⁽¹⁾	Safra						
		1998/99	1999/00	2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05
Soja	Trat 10	3,13	-	-	3,21	-	3,18	2,87
	vs.	ns ⁽²⁾						
	Demais trat	3,17	-	-	3,56	-	3,25	3,03
Milho	Trat 10	4,36	6,00	-	6,17	6,00	-	-
	vs.	*	*		*	*		
	Demais trat	7,33	10,45	-	10,28	10,22	-	-
Feijão	Trat 10	-	2,49	2,72	-	2,61	2,14	-
	vs.		*	ns		ns	ns	
	Demais trat	-	3,61	3,25	-	3,01	2,72	-

⁽¹⁾ Trat 10: média do tratamento sem adubo; Demais trat: média de todos os tratamentos, menos o trat 10.

⁽²⁾ P-valor: * <0.05; ns: não significativo.

A produtividade da soja não foi influenciada pelos tratamentos, inclusive pela aplicação de adubo (Tabela 8), o que evidencia a baixa resposta da soja a aplicação de fósforo (P) e potássio (K) quando esses nutrientes são altos e médios no solo, respectivamente. Estes resultados são concordantes com os obtidos por Oliveira et al. (1992) e Lantmann et al. (1996). Lantmann et al. (1997) e Buah, Polito e Killorn (2000), indicam que em áreas com altos teores de P e K pode ser adotada para a soja a estratégia de adubação de sistema, onde a aplicação dos nutrientes pode ser realizada independente da forma (sulco ou lanço) e em culturas antecessoras, prática já sugerida no Estado do Paraná (EMBRAPA, 2005).

Outra observação é que mesmo após sete anos (safra 2004/05) sem aplicação de adubo (tratamento 10), a produtividade da soja nesse tratamento foi semelhante aos demais (Tabela 8), o que sugere alta capacidade dessa cultura em utilizar os nutrientes presentes no solo. Também pode-se atribuir este resultado ao efeito residual das adubações anteriores, devido aos mais de 10 anos de cultivo no local, antes do início do experimento. Estes dados discordam dos apresentados por Lantmann et al. (1996), onde foi possível dispensar a adubação da soja apenas quando o trigo foi adubado. O

que pode explicar a diferença nos resultados obtidos é o tipo de solo dos locais, em função das diferenças na disponibilização de P (RHEINHEIMER; ANGHINONI; KAMINSKI, 2000), e K para as plantas. Martins, Melo e Serrat (2004) observaram grande variação no potencial de fornecimento de K de formas não trocáveis para plantas de trigo em solos da região dos Campos Gerais, com valores até 54% do total absorvido pelas plantas, sendo que no LATOSSOLO BRUNO, do atual estudo, o K não trocável contribuiu com 10%. A concentração superficial dos nutrientes aliada a maior umidade nessa camada devido à presença da palha (MUZZILI 1983; STECKER et al., 1988) também pode ter contribuído positivamente para a absorção dos nutrientes pela soja, e consequentemente influenciado na ausência de resposta à adubação, além das condições climáticas favoráveis ocorridas durante as safras (Tabelas 1 e 2). Outro fato que deve ser considerado é a cultivar BRS 133, utilizada no atual trabalho, que, segundo EMBRAPA (2006), pode ser semeada em áreas de baixa a média fertilidade, o que identifica maior capacidade desta cultivar em se adaptar a condições de menor fertilidade.

Os mecanismos sulcadores também não interferiram na produtividade e demais variáveis, possivelmente devido a ausência de limitação física.

Diferente do observado na soja, os tratamentos influenciaram a produtividade de feijão em um dos quatro anos avaliados, o mesmo ocorrendo para a população final de plantas, enquanto que a MMG foi influenciada apenas na safra 2002/03 (Tabela 7). Em geral, o feijoeiro é considerado muito responsivo a P e pouco responsivo ao K, o que sugere que os efeitos da adubação sejam especialmente devidos ao primeiro nutriente ou ao nitrogênio (N). Na análise de contrastes (Tabela 8), no entanto, apenas a produtividade da primeira safra foi significativa para o contraste I, que compara o tratamento sem adubação (tratamento 10) com os demais. Como os demais contrastes avaliados neste trabalho não foram significativos (dados não apresentados), conclui-se que para o feijão o mais importante é realizar a adubação, independente da forma, época e fonte de P.

As produtividades de feijão (Tabela 8, Anexo 1) obtidas são superiores às médias do Estado do Paraná que variaram entre 0,85 e 1,34 Mg ha⁻¹ nas mesmas safras

em que este trabalho foi desenvolvido (CONAB, 2006) ou da região, que foram de 1,29 e 1,84 Mg ha⁻¹ nas duas últimas safras deste estudo (SEAB, 2006), respectivamente. Considerando que a produtividade de feijão no tratamento sem adubo foi inferior entre 15,3% e 27,1% em relação a médias dos tratamentos adubados, apesar da não existência de significância nas safras 2000/01, 2002/03 e 2003/04 (Tabela 8), essa diferença pode ser economicamente importante. Essa diferença também pode ter sido devido ao N, já que no tratamento sem adubo (tratamento 10), esse nutriente não foi aplicado.

Na cultura do feijoeiro, a resposta à aplicação de N é muito variável, ora apresentando resposta positiva (SILVEIRA; DAMASCENO, 1993; BARBOSA FILHO; SILVA, 2000), ora não sendo influenciada (ARF et al., 1999). Em função das características de alta resposta da cultura ao P (FAGERIA; BARBOSA FILHO; STONE, 2004) e baixa resposta à aplicação de K (SGUÁRIO Jr., 2000), torna-se importante definir qual a dose mínima necessária de P que deve ser aplicada para cada cultivo, o restante podendo ser aplicado em outra cultura, ou em uma única vez, considerando a rotação de culturas adotada.

Os mecanismos sulcadores, fontes de P, épocas e formas de aplicação (lanço, sulco, verão ou inverno) não interferiram na produtividade, havendo efeito somente da adubação em relação à ausência de adubação (conforme discutido anteriormente), indicando que as condições climáticas e físicas do solo foram favoráveis à cultura, e que a concentração do adubo no sulco, mesmo com a presença de K e de N, não foi prejudicial às plantas de feijoeiro.

Em relação ao número final de plantas de milho constata-se que o menor valor foi observado no tratamento sem aplicação de adubo (tratamento 10) em relação aos demais tratamentos, nas safras 1998/99 e 2001/02, enquanto o número final de espigas foi menor no tratamento 10 em relação aos demais apenas na safra 2001/02 (Tabela 9), possivelmente devido a menor disponibilização de nutrientes para as plantas no tratamento 10. Deve-se considerar que na contagem do número final de plantas, não foram contadas as plantas de baixo vigor (menor que um metro de altura) que ocorreram nas parcelas. As alturas de planta e de inserção de espiga no milho foram

afetadas nas duas safras em que estas variáveis foram medidas (Tabela 7), também ocorrendo diferença apenas entre aplicar ou não adubo (Tabela 9). Possivelmente, esses maiores valores para número de plantas e de espigas e altura de plantas estejam mais relacionados à aplicação de N em cobertura. Os dados obtidos por Sangoi et al. (2001) reforçam esta hipótese, pois esses autores observaram com o aumento da dose de N aumento linear da matéria seca (MS) da parte aérea de quatro híbridos de milho.

TABELA 9 - EFEITO DA APLICAÇÃO DE ADUBO SOBRE O NÚMERO FINAL DE PLANTAS (NPLA) E DE ESPIGAS (NESP) POR HECTARE E SOBRE A ALTURA DE PLANTA (ALTP) E DE INSERÇÃO DE ESPIGA (ALTESP) EM MILHO (CONTRASTES UTILIZANDO O TESTE DE SCHEFFÉ).

Contraste ⁽¹⁾	----- Safra -----		Contraste ⁽¹⁾	----- Safra -----	
	1998/99	2001/02		1999/00	2002/03
	Valor	Valor		cm	cm
Npla			Altp		
Trat 10	43438	48750	Trat 10	200	190
vs.	* ⁽²⁾	*	vs.	*	*
Demais trat	59462	61904	Demais trat	217	217
Nesp			Altesp		
Trat 10	43750	56250	Trat 10	90	91
vs.	*	ns	vs.	*	*
Demais trat	57836	61319	Demais trat	109	113

⁽¹⁾Trat 10: média do tratamento sem adubo; Demais trat: média de todos os tratamentos, menos o trat 10.

⁽²⁾ P-valor: * <0.05; ns: não significativo.

O milho foi a única cultura com a produtividade e MMG influenciadas pelos tratamentos em todas as safras avaliadas (Tabela 7). As produtividades obtidas (Tabela 8, Anexo 2) foram superiores à média estadual que variaram entre 3.82 e 5.66 nas mesmas safras em que este trabalho foi desenvolvido (CONAB, 2006), e maiores que a produtividade regional das últimas 3 safras deste trabalho que variou entre 6.36 e 6.70 Mg ha⁻¹ (SEAB, 2006), identificando o elevado potencial produtivo dessa cultura na região. A produtividade e a MMG aumentaram com a aplicação de adubo, conforme as análises de contraste apresentadas nas Tabelas 8 e 10, sem ocorrer diferença significativa entre formas de aplicação (dados não apresentados).

TABELA 10 - EFEITO DA APLICAÇÃO DE ADUBO SOBRE A MASSA DE MIL GRÃOS (g) DE MILHO (CONTRASTES UTILIZANDO O TESTE DE SCHEFFÉ).

Contraste ⁽¹⁾	Safrá			
	1998/99	1999/00	2001/02	2002/03
Trat 10	257	322	346	311
vs.	*(2)	*	*	*
Demais trat	290	369	392	393

⁽¹⁾Trat 10: média do tratamento sem adubo; Demais trat: média de todos os tratamentos, menos o trat 10.

⁽²⁾ P-valor: * <0.05.

Assim como no feijão, os efeitos na produtividade e na MMG podem ser atribuídos em parte ao N, que não foi aplicado no tratamento sem adubo, já que o milho é uma cultura altamente responsiva à aplicação desse nutriente (PAULETTI; COSTA, 2000; FONTOURA, 2005). A falta de um tratamento em que a dose de N em cobertura fosse mantida impede a quantificação dos efeitos isolados da ausência desse nutriente na adubação de semeadura, fato relevante, pois no plantio direto o aumento da dose de N na semeadura tem sido importante (SÁ, 1995b; FONTOURA, 2005; DIECKOW, MEURER, SALET, 2006) e não tem apresentado restrição quanto a danos nas sementes com doses de até 120 kg de N ha⁻¹ (FONTOURA et al., 1999; TESSARO et al., 2000). O que reforça a hipótese da influência do N é o teor alto de P e médio de K, encontrado no solo antes do início do experimento. Com isso, são esperados acréscimos apenas com a aplicação de K, e de no máximo 10% (RAIJ, 1996).

Sá (2004), complementando os dados de Sá (1995a), em um LATOSSOLO argiloso cultivado por 12 anos em plantio direto e com alto teor de P, obteve na produtividade acumulada de duas safras de milho em rotação com trigo e soja, aumentos médios entre 8 e 19% com a aplicação de P no sulco. No atual trabalho, o aumento médio da produtividade no milho com aplicação de adubo foi superior a 66% (Tabela 8) o que reforça a possibilidade de maior efeito do N. Os níveis altos de P e médios de K, observados no início do experimento, também definem em aproximadamente 10 a 25 % a possibilidade de aumento de produtividade, com a

aplicação destes nutrientes. No entanto, considerando as demais comparações entre tratamentos, pode-se inferir que a aplicação do adubo de semeadura na cultura do milho pode ser realizada com qualquer mecanismo sulcador, época e forma de aplicação, concordando com Bordoli e Mallarino (1998) que estudaram o P, com Pavinato e Ceretta (2004) em estudo de formas e épocas de aplicação de P e K em uma sucessão trigo/milho e com Howard, Essington e Logan (2002) que observaram aumento da produtividade de milho com aplicação complementar de P no sulco, em relação à aplicação somente a lanço, em apenas cinco, de 33 comparações feitas. As temperaturas ocorridas durante o desenvolvimento das plantas e no período em que este trabalho foi conduzido (Tabela 1) também parecem não interferir nas estratégias de adubação, como sugerem Stecker et al. (1988), que atribuíram a menor absorção de P pelo trigo no SPD à menor temperatura do solo, proporcionada pela presença de palha na superfície.

A retirada de K do sulco de semeadura não interferiu na produtividade e demais variáveis avaliadas, discordando de Fancelli e Dourado Neto (2005), que não recomendam aplicar no sulco doses superiores a 42 kg ha^{-1} de K na forma de KCl, devido ao efeito salino dessa fonte. No entanto, concordando com os dados obtidos no atual trabalho, Heckman e Kamprath (1992) que, apesar de observarem menor acúmulo de MS até os 21 dias após a emergência com a aplicação de K no sulco de semeadura em relação à aplicação a lanço em pré-semeadura e aumento da produtividade com o aumento da dose de K, não obtiveram diferenças entre as formas de aplicação de K na produtividade de grãos. No mesmo sentido, Mullins et al. (1994), apesar de obterem maior crescimento radicular de algodão em profundidade com a aplicação de 84 kg ha^{-1} de K, 38 cm abaixo da superfície do solo, não perceberam variações no acúmulo de matéria seca das plantas e na produtividade.

A presença de palha na superfície também pode influenciar na disponibilização de nutrientes para o milho, como foi observado por Yibirin, Johnson e Eckert (1993), onde maior quantidade de palha na superfície diminuiu a resposta ao K e a necessidade de aplicação desse nutriente em sulcos, sendo um dos motivos o maior crescimento radicular das plantas. Também não foi observada diferença entre as fontes de P

avaliadas. Altos teores de P no solo geralmente favorecem a igualdade entre fontes solúveis e fosfatos naturais (SOUSA; LOBATO, 2004). Os fosfatos naturais de alta reatividade utilizados neste trabalho, fosfato Carolina do Norte e Gafsa, frequentemente apresentam eficiência agronômica semelhante aos fosfatos solúveis (HOROWITZ; MEURER, 2004).

4.6 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam que a soja não responde à adubação com fósforo (P) e potássio (K) por pelo menos sete anos quando os teores de P são altos e os de K médios no solo. O milho e o feijão respondem à adubação com nitrogênio (N), P e K, sendo que a adubação de semeadura pode ser realizada no sulco ou a lanço, no inverno anterior ao cultivo ou no verão de cultivo e utilizando mecanismo sulcador tipo disco duplo ou do tipo haste. Para as culturas e doses utilizadas, tanto o N quanto o K podem ser aplicados no sulco de semeadura. O uso de fosfato natural reativo, proporciona às culturas avaliadas a mesma produtividade que o superfosfato triplo.

5 CAPITULO 2 - DESENVOLVIMENTO E PRODUTIVIDADE DE MILHO APÓS SEIS ANOS DE ADOÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO EM PLANTIO DIRETO

5.1 RESUMO

Este trabalho tem por objetivo identificar diferenças no crescimento de plantas e na produtividade de milho (*Zea mays*, L.), após seis anos de adoção de estratégias de adubação mineral de semeadura em área sob sistema plantio direto. Entre os anos 1998 e 2005 foi conduzido um experimento no Campo Demonstrativo e Experimental da Fundação ABC em Castro, PR, em um LATOSSOLO BRUNO com alto teor inicial de fósforo e médio de potássio. Aplicaram-se 10 tratamentos, contemplando fontes de fósforo (fosfato natural e superfosfato triplo), mecanismos sulcadores (disco duplo e haste), formas (sulco e superfície) e épocas (inverno e verão) de aplicação dos nutrientes, além de um tratamento sem adubação. A ausência de adubação proporcionou redução no acúmulo de matéria seca (MS) e na área foliar, em todas as fases avaliadas da cultura. Após 48 dias da emergência, todos os tratamentos com aplicação de adubo tiveram resultados semelhantes tanto no acúmulo de MS quanto na AF. A ausência de adubação proporcionou taxa de crescimento relativo e taxa assimilatória líquida maiores no início e menores no final do desenvolvimento das plantas, em relação à presença de adubação de semeadura. A produtividade e a massa de mil grãos de milho foram reduzidas com a ausência de adubação, mas não diferiram entre as estratégias de adubação.

5.2 ABSTRACT

This work has the objective to identify differences in the growth and in the yield of maize (*Zea mays*, L.), cultivated in an area under no-tillage system using different strategies of mineral fertilizer application for seven years. The experiment was conducted from 1998 through 2005 in the ABC Foundation Demonstrative and Experimental Field, in Castro, PR, on a Haplohumox soil with high initial levels of phosphorus (P) and medium levels of potassium (K). Ten treatments including two P sources (rock phosphate and triple superphosphate), row preparation component (double disc opener or coulter opener), position of fertilizer placement (in-furrow or broadcast), time of application (summer or winter) and a treatment without fertilizer were tested. The absence of fertilization reduced the dry matter accumulation and the foliar area, in all phases of the culture. After 48 days of the emergence all treatments with fertilizer application were similar on dry matter and foliar area. The fertilization absence provided larger relative growth rate and net assimilation rate in the beginning and smaller at the end of the plants development. The yield and the mass of thousand maize grains were reduced with the absence of fertilization, but they didn't differ among the fertilization strategies.

5.3. INTRODUÇÃO

O milho é uma cultura de expressão econômica significativa, sendo cultivado em mais de 11 milhões de hectares no Brasil e em aproximadamente dois milhões de hectares no Paraná (SEAB, 2006). Essa cultura é exigente em nutrientes, sendo parte de suas necessidades nutricionais supridas em geral pela aplicação de adubos em sulcos, durante a semeadura.

A adubação do milho realizada no sulco, também chamada de adubação de semeadura ou ainda de adubação de arranque, normalmente contém os nutrientes nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). Os efeitos da aplicação dos adubos de forma localizada em sulcos próximos às sementes são observados especialmente no crescimento inicial das plantas (ANGHINONI, 1992; SILVA et al., 1993; MALLARINO; BORDOLI; BORGES, 1999; KAISER; MALLARINO; BERMUDEZ, 2005), com poucos ou ausentes reflexos na produtividade de grãos. Model e Anghinoni (1992), por exemplo, não observaram diferença no rendimento de milho entre aplicar P e potássio (K) a lanço ou no sulco, em solo com teor suficiente de K e teor limitante de P, apesar das aplicações localizadas (linha e faixa) terem sido superiores na altura de plantas aos 60 dias após a semeadura e na quantidade de biomassa seca no florescimento. Bullock et al (1993), verificaram que com a aplicação de adubo de arranque, em duas áreas com altos teores de P e de K, ocorreram os maiores valores de matéria seca (MS) de plantas e de folhas, área foliar e taxa de assimilação líquida (TAL) nos estádios iniciais de desenvolvimento do milho, o que não influenciou a produtividade de grãos. Por outro lado, salientam que pode haver variação entre cultivares ou híbridos, o que concorda com Almeida et al. (2003) que observaram, em estudo com cinco híbridos de milho, que o crescimento inicial não interfere na produtividade de grãos. Doses crescentes de N proporcionam maior acúmulo de MS na fase de florescimento do milho (SANGOI et al., 2001), sendo este acúmulo também dependente do híbrido utilizado. A aplicação de altas doses de K e a aplicação deste nutriente no sulco de semeadura também pode diminuir o crescimento inicial das plantas devido ao efeito salino, sem afetar, no entanto, a produtividade de grãos (HECKMAN; KAMPRATH, 1992).

Estratégias de aplicação de adubos podem afetar a distribuição dos atributos químicos do solo, especialmente no sistema plantio direto (SPD), onde não ocorre revolvimento da camada adubada. Estas variações na distribuição dos atributos químicos são denominadas variabilidade vertical e variabilidade horizontal. A primeira é afetada especialmente pela reciclagem dos nutrientes, que são depositados através dos resíduos das plantas na superfície do solo, e pela aplicação de adubos em superfície ou em sulcos, enquanto que a segunda é influenciada principalmente pela aplicação de adubos em sulcos. O P e o K são os nutrientes que apresentam as maiores variabilidades horizontais enquanto os atributos químicos da fertilidade tendem a ser maiores, quanto mais superficial for a amostra de solo coletada (KITCHEN; HAVLIN; WESTFALL, 1990; SOUZA; COGO; VIEIRA, 1998; SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000; SILVEIRA et al., 2000; STECKER; BROWN, 2001; ALVAREZ; GUARÇONI, 2003). Essas variabilidades na distribuição dos atributos químicos do solo poderiam afetar o crescimento das plantas cultivadas, especialmente no início do ciclo das culturas.

Como a distribuição dos atributos da fertilidade do solo tende a ser consolidada após um longo período de adoção de estratégias de adubação, as variações no crescimento das plantas e na produtividade de grãos devem ser avaliadas nessas condições. Considerando o apresentado acima, elaborou-se este trabalho com o objetivo de identificar diferenças no crescimento de plantas e na produtividade de milho, após a adoção por seis anos seguidos, em uma rotação de culturas, de estratégias de adubação mineral de semeadura.

5.4 MATERIAL E MÉTODOS

As informações referentes ao local e ao experimento estão descritas no item 3 (Material e Métodos Geral) .

As avaliações foram feitas na safra 2004/05, sete anos após o início do experimento, com o milho híbrido XL 214, semeado em 22 de outubro de 2004. A rotação de culturas adotada antes dessa safra foi: aveia preta / milho / trigo / feijão / aveia preta / soja / aveia preta / milho / trigo / feijão / aveia preta / soja / aveia preta.

Foram determinadas, em todos os tratamentos (Tabela 4), a área foliar (AF) e a matéria seca (MS), nos dias 02/12/2004, 14/12/2004, 26/12/2004, 06/01/2005, 21/01/2005, 09/02/2005 e 15/03/2005, exceção feita às duas primeiras coletas, onde não foi determinada a AF. Essas datas correspondem a 34, 48, 65, 76, 91, 110 e 148 dias após a emergência, respectivamente. Em cada data, e por parcela, foram cortadas três plantas a aproximadamente um cm do solo na mesma linha de semeadura, respeitando-se uma distância superior a três plantas da última coleta. Para determinar a área das folhas verdes, utilizou-se o aparelho portátil fabricado pela LI-COR, modelo LI-3000A. Após a determinação da AF, as plantas foram levadas para estufa, à temperatura de 65°C até peso constante, para posterior pesagem e determinação da MS. A produtividade de grãos foi obtida pela colheita de quatro linhas de cinco metros. Após a debulha mecânica e correção para 13% de umidade, os pesos de grãos por parcela foram extrapolados para hectare. O número final de plantas e de espigas foi obtido pela contagem das plantas e das espigas colhidas nas quatro linhas de cinco metros. A massa de mil grãos foi obtida pela contagem e pesagem de 250 grãos provenientes da amostra utilizada para determinação da produtividade e posterior correção para 13% de umidade, multiplicada por quatro.

Antes da análise estatística foram eliminados os dados discrepantes (outliers), identificados através da distribuição normal padrão, utilizando o critério de mais ou menos três desvios padrões. Posteriormente procedeu-se a análise de variância, utilizando-se o delineamento em blocos completos ao acaso. Em caso de análise de variância significativa (teste F), aplicou-se o teste de Tukey para comparação de

médias (MONTGOMERY, 2001). As análises estatísticas foram realizadas no programa R 2.1.1 (R DEVELOPMENT, 2005). A análise de crescimento das plantas foi realizada com o auxílio do programa computacional AnaCres (PORTES; CASTRO, 1991), estimando-se o índice de área foliar, a taxa de crescimento relativo e a taxa assimilatória líquida ou aparente, obtendo-se as curvas de regressão em função das datas de coleta.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acúmulo de matéria seca (MS) por planta aumentou com a idade das plantas em todos os tratamentos até a última avaliação, correspondente à maturação fisiológica, com exceção do tratamento sem adubação (Tabela 11). Nesse tratamento, observa-se menor valor de MS comparando à avaliação realizada aos 148 dias após a emergência (dae) com a realizada aos 110 dae, o que pode identificar a antecipação do ciclo da cultura em função da ausência de adubação, fato não quantificado neste experimento. No tratamento 10, a MS foi menor que os demais tratamentos desde o início do desenvolvimento da cultura, com valores inferiores em 28%, considerando a média de todas as avaliações, demonstrando a importância da adubação no crescimento e acúmulo de biomassa pelas plantas de milho.

Entre os tratamentos com adubo, destacam-se com menor produção de MS, o tratamento 1, que corresponde à aplicação de todo o adubo a lanço na semeadura de inverno, aos 34 e 48 dias após a emergência (dae) e o tratamento 4 aos 48 dae, com aplicação de fosfato natural em substituição ao fosfato solúvel. Percebe-se que a estratégia adotada na aplicação dos nutrientes pode interferir no crescimento inicial do milho, o que concorda com outros autores (SILVA et al., 1993; KAISER; MALLARINO; BERMUDEZ, 2005). Mallarino, Bordoli e Borges (1999) observaram que com a aplicação de fósforo (P) em sulco, frequentemente ocorre maior crescimento inicial das plantas de milho em relação à aplicação a lanço, o mesmo não ocorrendo com o potássio (K), que apresentou semelhança entre as duas formas de aplicação. Model e Anghinoni (1992), ao avaliarem formas de aplicação de P em diferentes sistemas de preparo do solo, atribuíram o menor crescimento das plantas à alta reatividade deste nutriente com o solo na aplicação a lanço.

A diferença do tratamento sem adubação (tratamento 10) em relação aos demais durante todo o ciclo da cultura, além do efeito do P, pode ter influência da ausência de aplicação de nitrogênio (N). Sangoi et al. (2001), observaram maior quantidade de MS no florescimento do milho com o aumento das doses de N. Por outro lado, Reeves, Wood e Touchton (1993) ao de observarem maior acúmulo de MS com o aumento das

doses de N aplicadas no milho, também obtiveram maior MS com as aplicações feitas na semeadura até três semanas após, em relação às aplicações mais tardias. Segundo os dados desses autores, as diferenças entre as doses e épocas de aplicação de N ocorrem principalmente a partir de nove semanas da semeadura, o que sugere que os dados do atual trabalho, obtidos no tratamento sem adubação, se devem à somatória da ausência de aplicação de N e de P.

TABELA 11 - MATÉRIA SECA E ÁREA FOLIAR POR PLANTA POR DIA APÓS A EMERGÊNCIA (DAE) E PRODUTIVIDADE DE GRÃOS, MASSA DE MIL GRÃOS, NÚMERO FINAL DE PLANTAS E DE ESPIGAS, EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS.

Época	Tratamento ⁽¹⁾									
	1 ⁽²⁾	2 ⁽²⁾	3 ⁽²⁾	4 ⁽²⁾	5	6	7 ⁽²⁾	8 ⁽²⁾	9 ⁽²⁾	10 ⁽²⁾
Dae ⁽³⁾	Matéria seca - g planta ⁻¹									
34	5,7 bc ⁽⁴⁾	6,7 abc	6,7 abc	6,3 abc	8,4 a	7,8 ab	7,5 abc	6,6 abc	6,6 abc	4,9 c
48	25 bc	30 abc	33 ab	25 bc	34 ab	29 abc	35 a	30 abc	27 abc	21 c
65	56 ab	52 ab	54 ab	63 ab	61 ab	71 a	63 ab	59 ab	59 ab	38 b
76	108 a	102 a	114 a	104 a	91 ab	98 ab	94 ab	96 ab	97 ab	66 b
91	136 ab	122 ab	141 ab	142 ab	148 ab	148 ab	153 ab	158 a	164 a	92 b
110	224 a	228 a	243 a	224 a	211 a	211 a	271 a	244 a	257 a	206 a
148	304 a	296 a	286 a	303 ab	264 ab	265 ab	313 a	316 a	325 a	180 b
Dae	Área foliar - cm ² planta ⁻¹									
65	2611 ab	2556 ab	2670 ab	2841 ab	2904 ab	3200 a	3245 a	2783 ab	2997 a	1917 b
76	5261 a	5845 a	5197 a	5324 a	5492 a	5618 a	5845 a	5349 a	5353 a	4379 a
91	5342 ab	5632 ab	6397 a	6104 a	6411 a	6227 a	6309 a	6720 a	6800 a	4416 b
110	6032 a	6191 a	6154 a	6279 a	5769 a	6116 a	5997 a	6419 a	6659 a	5331 a
148	2592 ab	2513 ab	2400 ab	2764 ab	2537 ab	2591 ab	2611 ab	2651 ab	3048 a	2031 b
Colheita	Produtividade de grãos - Mg ha ⁻¹									
	8,11 a	7,97 a	8,37 a	7,91 a	8,47 a	8,59 a	9,02 a	8,04 a	8,50 a	4,05 b
Colheita	Massa de mil grãos - g									
	321 a	300 ab	306 ab	310 a	300 ab	308 a	299 ab	304 ab	316 a	273 b
Colheita	Número final de plantas ha ⁻¹									
	63281 a	63672 a	65234 a	65625 a	67188 a	64453 a	66016 a	68750 a	63672 a	62109 a
Colheita	Número final de espiga ha ⁻¹									
	62109 a	60156 a	63672 a	63672 a	65234 a	65234 a	65234 a	64453 a	64063 a	58594 a

⁽¹⁾Aplicação de N, P, K: 1= Imediatamente antes da semeadura da cultura de inverno, sem incorporação; 2= P como em 1 e N e K no sulco de semeadura de verão; 3= P como em 1 e N e K a lanço imediatamente antes da semeadura de verão; 4= idem ao 2, substituindo fosfato solúvel por fosfato natural; 5= N, P e K no sulco de semeadura de verão com sulcador do tipo disco duplo; 6= idem 5, utilizando sulcador do tipo haste; 7= N, P e K em faixa sobre a linha de semeadura; 8= N, P e K a lanço imediatamente após a semeadura de verão; 9= N e P no sulco de semeadura de verão e K a lanço imediatamente após a semeadura de verão e; 10= sem aplicação de N, P e K. ⁽²⁾Utilização de mecanismo sulcador do tipo haste no feijão e no milho e do tipo disco duplo na soja.

⁽³⁾Dias após a emergência. ⁽⁴⁾Valores seguidos da mesma letra na linha, não diferem entre si - Tukey 5%.

Como durante o desenvolvimento do milho houve adequado suprimento de água (Tabela 2), a maior exploração do solo pelo sistema radicular com o passar do tempo possivelmente aumentou a absorção de nutrientes, o que deve ter sido a causa da semelhança entre os tratamentos adubados após os 48 dae. Considerando as doses utilizadas e os teores de K no solo, a aplicação desse nutriente no sulco de semeadura não diminuiu a quantidade de MS das plantas, como relatado por Heckman e Kamprath (1992).

Com estes dados percebe-se que a determinação da MS de plantas nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura não representa os efeitos de formas de aplicação de adubo sobre o acúmulo final de biomassa das plantas, refletindo basicamente a ausência de adubação. Essa afirmativa concorda com Reeves; Touchton e Burmester (1985), que também não observaram relação entre o crescimento inicial e a produtividade de milho, ao avaliarem a aplicação de adubo de semeadura e o uso de subsolador na linha de semeadura.

O tratamento que não recebeu adubação (tratamento 10) foi o que apresentou as menores áreas foliares por planta (Tabela 11) que em geral, são maiores entre 91 e 110 dias após a emergência. A redução média na área foliar (AF) com a ausência de adubação foi de 24%. Após o período de maior AF, houve diminuição acentuada dessa variável, como consequência da senescência das folhas mais velhas.

Como o acúmulo de MS e de AF por planta foi basicamente influenciado pela aplicação de adubo (Tabela 11), com pouca influência da forma de aplicação do adubo ou fonte de P, optou-se por avaliar as médias dos tratamentos com adubo em relação à testemunha (tratamento 10), sem aplicação de adubo, para o índice de área foliar (IAF), para a taxa de crescimento relativo (TCR) e para a taxa assimilatória líquida (TAL). Tanto para os tratamentos com adubação quanto para o tratamento sem adubação, o máximo da curva para o IAF foi próximo aos 91 dias após a emergência, decaindo posteriormente (Figura 5), porém para o tratamento sem adubo, os valores são inferiores durante todo o período avaliado. Valores de IAF considerados ideais para o milho variam entre 3 e 5 m² m⁻² (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000) sendo que neste trabalho índices superiores a 3 foram obtidos nos tratamentos com adubo nas

avaliações feitas entre 76 e 110 dias após a emergência, enquanto que para o tratamento sem adubo, valor acima de 3 somente foi observado aos 110 dias. Como o IAF representa a quantidade de área foliar por área de solo e permite avaliar o grau de desenvolvimento da planta bem como o potencial de interceptação da radiação solar incidente, percebe-se menor potencial produtivo das plantas no tratamento sem adubação.

A TCR foi maior no tratamento sem aplicação de adubo nas primeiras avaliações (Figura 6). Como representa o ganho de matéria seca com o tempo, a partir de uma massa inicial (BENINCASA, 1988), esse maior valor inicial no tratamento sem adubo é justificado pelo também menor volume inicial de biomassa nesse tratamento, especialmente em função da deficiência dos nutrientes N e P e também do K, que interferem no crescimento da planta (TAIZ; ZEIGER, 2004). Na última avaliação, aos 148 dias da emergência, a TCR foi negativa no tratamento sem adubo, identificando que nesse tratamento, a senescência das folhas mais velhas superou o acúmulo de massa.

A TAL, que representa no caso do milho, o balanço entre o produzido pela fotossíntese e o perdido pela respiração, diminui de maneira mais acentuada no tratamento sem adubo, enquanto que na média dos tratamentos com adubo, após decréscimo inicial, apresenta estabilização a partir dos 91 dae (Figura 7). Esse comportamento dos tratamentos com adubo também foi observado por Antoniazzi e Deschamps (2006) em cevada. A variação entre a aplicação ou não de adubo reflete na eficiência das folhas em produzir MS. A TAL negativa para o tratamento 10 (sem adubo) na última data avaliada, sugere a ocorrência antecipada da senescência das folhas mais velhas e reflete a TCR negativa nesta data.

A produtividade de grãos e a massa de mil grãos foram menores com a ausência de adubação (tratamento 10), mas as diferenças na MS inicial das plantas entre os tratamentos com adubo não interferiram na produtividade de grãos, que foi semelhante entre os tratamentos adubados (Tabela 11). A menor produtividade no tratamento 10 (sem adubo) reflete a menor TAL ocorrida no final do ciclo da cultura (Figura 7). Resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho com os tratamentos adubados

foram obtidos por Bullock et al. (1993), que observaram maior biomassa de milho com a aplicação de adubação com N e P no sulco de semeadura, apenas nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura. Também, a variabilidade horizontal e vertical dos atributos químicos do solo proporcionada pela aplicação dos tratamentos durante os seis anos anteriores ao cultivo do milho avaliado neste trabalho (Item 6 - Capítulo 3), parece não interferir no crescimento das plantas de milho, uma vez que a MS foi modificada apenas no início do ciclo da cultura, reflexo do efeito imediato e não do efeito residual dos tratamentos. Deve-se considerar que os altos teores de P e médios de K, encontrados no solo no início do experimento, favorecem a igualdade entre as estratégias de adubação, como observado por Wiethölter et al. (1998). Os números finais de plantas e de espigas não foram influenciados pelos tratamentos (Tabela 11).

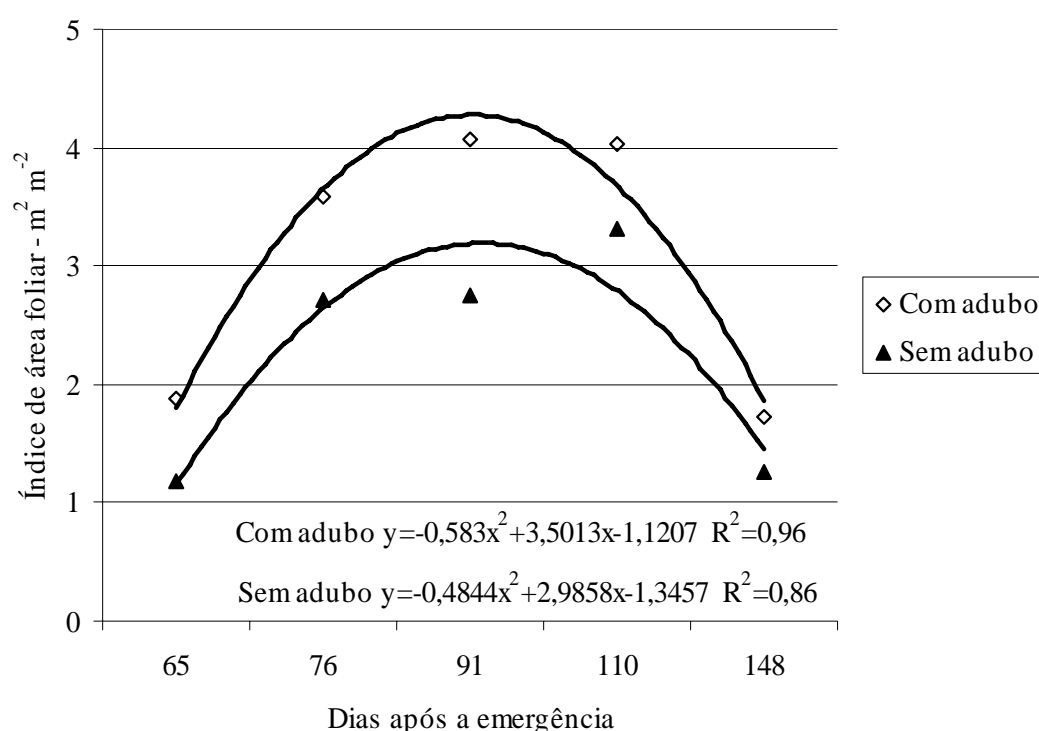


FIGURA 5 - ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR MÉDIO DOS TRATAMENTOS COM APLICAÇÃO DE ADUBO E DO TRATAMENTO SEM ADUBO, DURANTE O CICLO DA CULTURA DO MILHO.

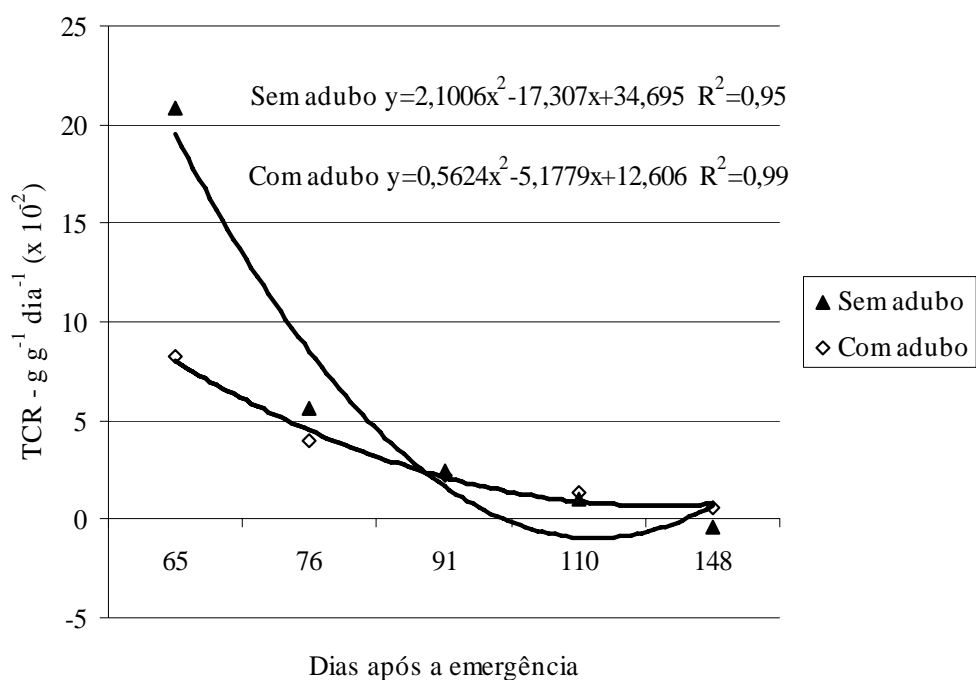


FIGURA 6 - TAXA DE CRESCIMENTO RELATIVO (TCR) MÉDIA DOS TRATAMENTOS COM APLICAÇÃO DE ADUBO E DO TRATAMENTO SEM ADUBO, DURANTE O CICLO DA CULTURA DO MILHO.

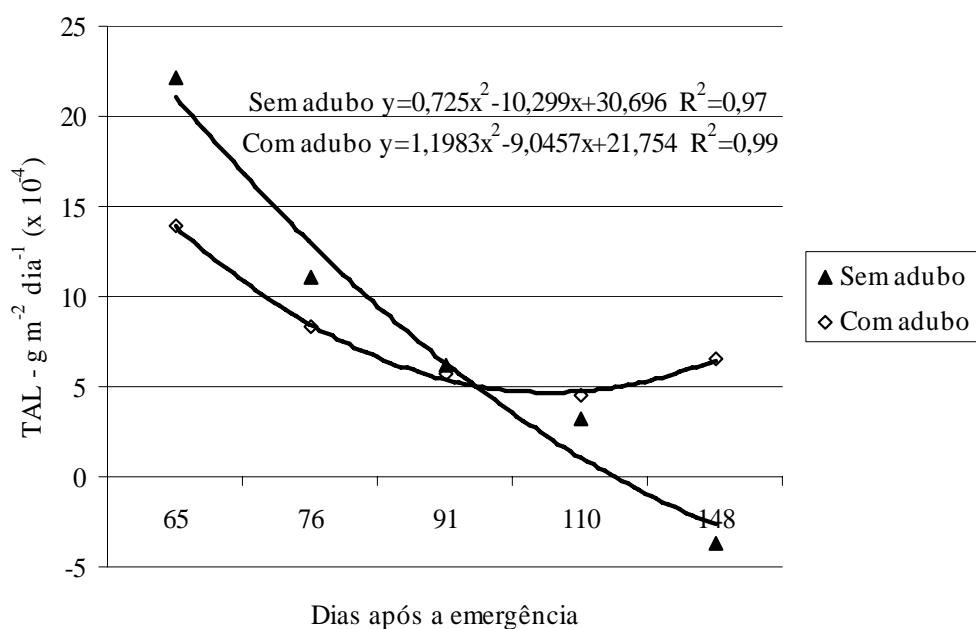


FIGURA 7 - TAXA ASSIMILATÓRIA LÍQUIDA (TAL) MÉDIA DOS TRATAMENTOS COM APLICAÇÃO DE ADUBO E DO TRATAMENTO SEM ADUBO, DURANTE O CICLO DA CULTURA DO MILHO.

5.6 CONCLUSÕES

A ausência de adubação proporcionou redução no acúmulo de matéria seca (MS) e na área foliar (AF) no início do desenvolvimento do milho, sendo que após 48 dias da emergência todos os tratamentos com aplicação de adubo tiveram resultados semelhantes tanto no acúmulo de MS quanto na AF. A ausência de adubação proporcionou taxa de crescimento relativo e a taxa assimilatória líquida maiores no início e menores no final do desenvolvimento das plantas, em relação à presença de adubação de semeadura. A produtividade e a massa de mil grãos de milho foram reduzidas com a ausência de adubação, mas não diferiram entre as estratégias de adubação.

6 CAPÍTULO 3 – FERTILIDADE DE UM LATOSSOLO BRUNO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO EM FUNÇÃO DA ESTRATÉGIA DE ADUBAÇÃO E DO MÉTODO DE AMOSTRAGEM

6.1 RESUMO

A aplicação de adubo em sulcos nem sempre reflete em aumento de produtividade de culturas anuais, mas aumenta a variabilidade química das áreas agrícolas, especialmente dos nutrientes fósforo (P) e potássio (K). Esta variabilidade é maior no sistema plantio direto (SPD) por não haver homogeneização da camada superficial pelo preparo mecânico. Este trabalho avaliou, em um LATOSSOLO BRUNO por longo período sob SPD, o efeito de estratégias de aplicação de adubo sobre a distribuição de atributos químicos do solo em profundidade após três e seis anos do início do experimento e sobre a variação destes atributos em função de dois métodos de coleta de amostras, com e sem inclusão da linha de semeadura, nas profundidades 0-10 e 0-20 cm. Aplicaram-se 10 tratamentos, contemplando fontes de P (fosfato natural e superfosfato triplo), mecanismos sulcadores (disco duplo e haste), formas (sulco e superfície) e épocas (inverno e verão) de aplicação de adubo de semeadura além de um tratamento sem adubação. Os atributos químicos do solo foram maiores nas camadas superficiais. O teor de P foi menor na profundidade de 0-5 cm com o uso contínuo por mais de três anos do mecanismo sulcador tipo haste e com a ausência de adubação. As metodologias de coleta de solo, com e sem inclusão da linha de semeadura, foram diferentes somente para os teores de K, cálcio e capacidade de troca catiônica, sendo que os maiores valores são observados com a inclusão da linha de semeadura. Os maiores teores dos atributos químicos avaliados no solo foram obtidos com a coleta de 0-10 cm em relação à coleta de 0-20 cm. As metodologias de coleta de amostras de solo com e sem inclusão da linha de semeadura, e as profundidades de coleta 0-10 e 0-20 cm, foram semelhantes quanto à interpretação dos resultados das análises para fins de recomendação de adubação e calagem.

6.2 ABSTRACT

Fertilizer application in furrows not always provides increase in yield for annual crops, but increases the chemical variability of the agricultural areas, specially for phosphorus (P) and potassium (K). This variability is larger in the no-tillage system due to the absence of the superficial preparation from tillage. This research evaluated the effect of strategies of fertilizer application in a Haplohumox soil for long period under no-tillage in the distribution of chemical components of the soil in depth after three and six years of the beginning of the experiment and in the variation of these components in function of two methods of soil sampling, with and without the inclusion of the seeding furrow in the sample, and the effect of collecting the samples in the depths 0-0,1 and 0-0,2 m. Ten treatments including two P sources (rock phosphate or triple superphosphate), row preparation components (double disc opener or coulter opener), position of fertilizer placement (in-furrow or broadcast), time of application (summer or winter) and a control without fertilizer were tested. The chemical components of the soil were larger in the superficial layers. The level of P was smaller in the depth of 0-5 cm with the continuous use for more than three years of the coulter opener and fertilizer absence. The methods of soil sampling, with and without the inclusion of seeding furrow, provided different results for the levels of K, calcium (Ca) and cation exchange capacity (CEC), and larger values were observed with the inclusion of the seeding furrow. Larger levels of chemical components in the soil were obtained with the soil sampling at 0-0,1 m depth in relation to sampling at 0-0,2 m depth. The methods of soil sampling with and without the inclusion of the seeding furrow, and the depths of soil sampling provided similar fertilizer and lime recommendations.

6.3 INTRODUÇÃO

A aplicação de adubos minerais contendo nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) visa atender parte ou toda a demanda dos nutrientes para culturas anuais como a soja (*Glycine max*, L. Merr.), milho (*Zea mays*, L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). Essa aplicação geralmente é realizada por semeadoras que podem utilizar diferentes mecanismos sulcadores, depositando o adubo de forma concentrada abaixo das sementes. Entre os mecanismos mais utilizados estão o do tipo disco duplo, que abre um sulco de aproximadamente 70 mm de profundidade, e do tipo haste ou facão que produz um sulco de até 150 mm de profundidade (COELHO, 1998).

Porém, a aplicação dos adubos em sulcos sem posterior revolvimento do solo, aumenta a variabilidade horizontal e vertical das características químicas do solo que são intensificadas pela concentração de nutrientes e matéria orgânica (MO) nas camadas superficiais, observação unânime em áreas sob sistema plantio direto (SPD) (MUZILLI, 1983; ECKERT; JOHNSON, 1985; ELTZ; PEIXOTO; JASTER, 1989; MERTEN; MIELNICZUK, 1991; HOLANDA et al., 1998; HOWARD; ESSINGTON; LOGAN, 2002; PAULETTI et al., 2005). Devido a essa concentração superficial, algumas regiões no Brasil sugerem a coleta de amostras de solo para fins de avaliação da fertilidade, na profundidade de 0-10 cm (COMISSÃO RS/SC, 2004), substituindo a coleta na profundidade de 0-20 cm recomendada para sistemas que apresentam uniformização da camada superficial pelo revolvimento mecânico. No entanto, alguns autores sugerem que a metodologia de coleta para áreas com revolvimento do solo poderia ser utilizada para o SPD (BORDOLI; MALARINO, 1998; STECKER; BROWN, 2001).

A variabilidade horizontal é observada principalmente para P e K sendo menores para o pH e para a MO (SOUZA; COGO; VIEIRA, 1998; SILVEIRA et al., 2000; SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000; ALVAREZ; GUARÇONI, 2003). Essa variabilidade parece não estar relacionada com os teores do nutriente no solo e tempo de cultivo sob SPD (SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000), mas principalmente com a aplicação de adubos em pequenas porções do solo ou em sulcos de semeadura (STECKER; BROWN, 2001, KITCHEN; HAVLIN; WESTFALL, 1990). Os efeitos

residuais dessa aplicação localizada são dependentes da dose de nutriente utilizada e do tipo de solo (STECKER; BROWN, 2001). A concentração de K no sulco de semeadura também pode ocorrer pela deposição desse nutriente proveniente da lavagem da parte aérea das plantas (KLEPKER; ANGHINONI, 1995b). Percebe-se então que, a participação da porção de solo adubado com P e K na amostra tende a aumentar o teor desses nutrientes na análise (VASCONCELLOS et al., 1982).

Em função da variabilidade encontrada no SPD, diversos estudos foram realizados para definir a melhor forma de coleta das amostras de solo, para representar a fertilidade de um talhão cultivado nesse sistema. Kitchen, Havlin e Westfall (1990) sugeriram, quando for conhecida a localização da linha de semeadura, a coleta pareada, que consiste em coletar uma amostra na linha onde foi depositado o adubo para cada 20 amostras na entrelinha para espaçamento de semeadura de 76 cm ou para cada oito amostras na entrelinha, para espaçamentos de 30 cm, para compor uma amostra composta. A COMISSÃO RS/SC (2004) recomenda em áreas com adubação a lanço, a coleta por talhão de 15 a 20 pontos de 3 a 5 cm de espessura, com largura de 7 a 10 cm, e para áreas com adubação em linha, a coleta por talhão de aproximadamente 15 pontos de 3 a 5 cm de espessura pela largura do espaçamento de semeadura da cultura anterior à coleta, utilizando pá de corte. Alternativa a essa forma de coleta foi apresentada por Nicolodi, Anghinoni e Salet (2002), substituindo a pá de corte por trado do tipo calador, obtendo vantagem em diminuir a quantidade de solo manipulada.

Dos trabalhos que avaliam métodos de coleta de amostras de solo em plantio direto em função de formas de aplicação dos nutrientes, poucos verificaram a evolução das características químicas, ou restringem-se a um ou dois anos de experimento. A avaliação em longo prazo é importante para verificar os efeitos na distribuição dos nutrientes no perfil do solo.

Este trabalho tem por objetivo avaliar em uma área por longo período sob SPD, o efeito de estratégias de aplicação de adubo sobre a distribuição de atributos da fertilidade do solo em profundidade em função do tempo (após três e seis anos do

início do experimento) e em função de dois métodos de coleta de amostras de solo (com e sem inclusão da linha de semeadura) nas profundidades 0-10 e 0-20 cm.

6.4 MATERIAL E MÉTODOS

As informações referentes ao local e ao experimento estão descritas no item 3 (Material e Métodos Geral) .

Para avaliar a distribuição dos atributos da fertilidade do solo em profundidade em função do tempo, foram coletadas em todos os tratamentos (Tabela 4) amostras de solo nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm nos anos 2001 e 2004, após as colheitas de verão, em todas as parcelas. Essas datas coincidem com a conclusão de um e dois ciclos da rotação, respectivamente, ou seja, três e seis anos após o início do experimento. Na amostragem de 2001, coletaram-se 20 pontos por parcela para formar uma amostra composta, utilizando-se trado tipo calador, nas entrelinhas do feijão colhido. Na amostragem de 2004, adotou-se procedimento segundo Nicolodi, Anghinoni e Salet (2002), coletando-se com trado tipo calador, com diâmetro de 2,5 cm, em 8 locais, 7 amostras transversais ao sentido da semeadura, sendo uma na linha de semeadura da cultura anterior e três em cada lado, distribuídas de forma equidistantes até a metade da distância da entrelinha da cultura anterior (feijão), totalizando 56 amostras simples por parcela. Para simplificar citações posteriores, será denominado entrelinha o procedimento adotado em 2001 e linha o adotado em 2004.

Para comparar as metodologias de amostragem, foram coletadas amostras de solo nas profundidades 0-10 e 0-20 cm tanto no procedimento linha quanto no entrelinha, em todas as parcelas, sendo essas amostragens feitas em 2004, seis anos após o início do experimento.

As determinações químicas foram feitas no Laboratório da Fundação ABC em Castro-PR, seguindo metodologia descrita por Raij et al.(1987). A extração de P, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e K foi feita por resina trocadora de íons e determinação do P por colorimetria e dos demais por espectrofotometria de absorção atômica. O pH foi determinado em solução salina (CaCl_2 0,01 mol L⁻¹) e a acidez potencial (H+Al) por solução tampão SMP. O carbono orgânico (CO) foi determinado pelo método Walkley-Black.

Antes da análise estatística foram eliminados os dados discrepantes (outliers), identificados através da distribuição normal padrão, utilizando o critério de três desvios padrões, para mais e para menos. Para avaliar os efeitos dos tratamentos na distribuição dos atributos da fertilidade do solo em profundidade em função do tempo, procedeu-se a análise de variância individual por ano, utilizando-se o delineamento em blocos completos ao acaso, em esquema de parcela subdividida, sendo a parcela o tratamento e a subparcela a profundidade de coleta. Para comparar as metodologias de coleta de amostras de solo, realizou-se a análise de variância utilizando o delineamento blocos completos ao acaso em esquema fatorial $10 \times 2 \times 2$, comparando-se 10 tratamentos (Tabela 4), duas profundidades (00-10 e 00-20 cm) e dois métodos de coleta (linha e entrelinha). Adotou-se o nível de significância de 5%. Em caso de análise de variância significativa, aplicou-se o teste de Tukey para comparação das médias (MONTGOMERY, 2001). As análises estatísticas foram realizadas no programa R 2.1.1 (R DEVELOPMENT, 2005).

6.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.5.1 Distribuição dos atributos da fertilidade do solo em profundidade - três anos após o início do experimento

Não houve interação entre profundidade e os tratamentos para todas as variáveis sendo que os teores são maiores, quanto mais superficial for a amostra (Tabela 12). Essa concentração superficial foi observada por diversos autores (MUZILLI, 1983; ECKERT; JOHNSON, 1985; ELTZ; PEIXOTO; JASTER, 1989; MERTEN; MIELNICZUK, 1991; HOLANDA et al., 1998; HOWARD; ESSINGTON; LOGAN, 2002; PAULETTI et al., 2005) e ocorre devido à ausência de revolvimento do solo. No caso do fósforo (P), também pode ocorrer no sistema plantio direto (SPD) menor adsorção na camada superficial devido ao recobrimento dos sítios de adsorção por radicais orgânicos e substituição de íons fosfatos por íons orgânicos nesses sítios (TISDALE; NELSON; BEATON, 1985), além do menor contato deste elemento com os sítios de adsorção pela ausência de revolvimento do solo.

Os teores de P e potássio (K) estão em níveis considerados altos em todas as profundidades (Tabela 12), utilizando-se os níveis de interpretação apresentados por Raij et al. (1996). Entre os tratamentos, não houve diferença nos teores de P, K, carbono orgânico (CO), pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%) no solo. Neste ano de 2001 a coleta foi realizada na entrelinha da cultura anterior, fato que, somado ao pouco tempo entre o início do experimento e a coleta das amostras de solo, pode justificar a uniformidade dos resultados. Com exceção do P e do K, não eram esperadas significativas mudanças para os demais parâmetros.

TABELA 12 – MÉDIA ARITMÉTICA DOS TEORES DE FÓSFORO (P), CARBONO ORGÂNICO (CO), pH, POTÁSSIO (K), CÁLCIO (Ca), MAGNÉSIO (Mg), CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIOS (CTC) E SATURAÇÃO POR BASES (V) NO SOLO, EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS E DA PROFUNDIDADE DE COLETA DAS AMOSTRAS – 2001.

	<u>P</u>	<u>CO</u>	<u>pH</u>	<u>K</u>	<u>Ca</u>	<u>Mg</u>	<u>CTC</u>	<u>V</u>
	mg dm ⁻³	g dm ⁻³	CaCl ₂		mmol _c dm ⁻³			%
Tratamento ⁽¹⁾								
1 ⁽²⁾	74	32	5,0	3,5	55	23	141	57
2 ⁽²⁾	67	31	5,1	2,8	57	24	141	59
3 ⁽²⁾	85	32	5,2	2,5	66	27	148	64
4 ⁽²⁾	67	32	5,0	2,8	54	25	141	56
5	83	32	5,2	2,6	62	27	144	62
6	77	33	5,1	2,8	58	25	144	59
7 ⁽²⁾	66	32	5,1	2,3	57	24	140	59
8 ⁽²⁾	70	33	5,1	3,0	56	26	141	60
9 ⁽²⁾	86	33	5,2	3,1	62	27	141	65
10 ⁽²⁾	60	34	5,1	2,4	54	25	143	57
P-valor	0,217	0,313	0,299	0,082	0,109	0,363	0,623	0,440
Profundidade - cm								
0-5	131 a ⁽³⁾	38 a	5,3 a	3,9 a	76 a	33 a	158 a	71 a
5-10	90 b	31 b	5,1 b	3,2 b	56 b	24 b	142 b	59 b
10-20	57 c	28 c	4,9 c	2,6 c	42 c	19 c	128 c	49 c
P-valor	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

⁽¹⁾Aplicação de N, P, K: 1= Imediatamente antes da semeadura da cultura de inverno, sem incorporação; 2= P como em 1 e N e K no sulco de semeadura de verão; 3= P como em 1 e N e K a lanço imediatamente antes da semeadura de verão; 4= idem ao 2, substituindo fosfato solúvel por fosfato natural Carolina do Norte até a safra 2001/02 e posteriormente Gafsa; 5= N, P e K no sulco de semeadura de verão com sulcador do tipo disco duplo; 6= idem 5, utilizando sulcador do tipo haste; 7= N, P e K em faixa sobre a linha de semeadura; 8= N, P e K a lanço imediatamente após a semeadura de verão; 9= N e P no sulco de semeadura de verão e K a lanço imediatamente após a semeadura de verão e; 10= sem aplicação de N, P e K. ⁽²⁾Utilização de mecanismo sulcador do tipo haste no feijão e no milho e do tipo disco duplo na soja. ⁽³⁾Valores seguidos da mesma letra na coluna, não diferem entre si - Tukey 5%.

6.5.2 Distribuição dos atributos da fertilidade do solo em profundidade - seis anos após o início do experimento

Em 2004 os teores de todas as variáveis são maiores, quanto mais superficial for a amostra (Tabela 13), situação semelhante à observada na coleta realizada em 2001.

Os teores de P e K, segundo Raij et al. (1996), também estão em níveis considerados altos nas profundidades 0-5 e 5-10 cm, porém médios ou baixos na camada de 10-20 cm (Tabela 13). Os menores teores na profundidade 10-20 cm podem ser devidos a não inclusão da porção adubada na amostra, pois a aplicação do adubo nos tratamentos foi realizada em superfície até a profundidade aproximada de 10 cm com o uso da haste.

TABELA 13 – MÉDIA ARITMÉTICA DOS TEORES DE FÓSFORO (P), CARBONO ORGÂNICO (CO), pH, POTÁSSIO (K), CÁLCIO (Ca), MAGNÉSIO (Mg), CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIOS (CTC) E SATURAÇÃO POR BASES (V) NO SOLO, EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS E DA PROFUNDIDADE DE COLETA DAS AMOSTRAS – 2004.

Tratamento ⁽¹⁾	P			CO	pH	K	Ca	Mg	CTC	V
	mg dm ⁻³			g dm ⁻³	CaCl ₂		mmol _c dm ⁻³			%
	0-5	5-10	10-20							
1 ⁽²⁾	118 a ⁽³⁾	55	17	31	5,1	3,1	68	26	153	63
2 ⁽²⁾	107 ab	50	16	31	5,2	3,0	66	26	147	64
3 ⁽²⁾	118 a	58	19	31	5,3	2,8	73	28	156	66
4 ⁽²⁾	114 a	46	11	31	5,1	2,6	65	26	144	64
5	108 a	46	15	30	5,3	2,6	69	28	146	68
6	78 bc	57	16	31	5,1	2,7	62	26	144	62
7 ⁽²⁾	101 ab	54	16	30	5,1	2,2	65	26	146	63
8 ⁽²⁾	103 ab	42	14	31	5,2	2,7	69	28	149	66
9 ⁽²⁾	91 abc	50	20	31	5,3	2,9	64	26	139	68
10 ⁽²⁾	70 c	43	16	33	5,2	2,1	69	28	151	64
P-valor	<0,0001	0,298	0,938	0,220	0,824	0,068	0,410	0,757	0,123	0,747
Profundidade - cm										
0-5				37 a ⁽³⁾	5,5 a	3,9 a	84 a	33 a	161 a	75 a
5-10				30 b	5,2 b	2,6 b	70 b	27 b	150 b	66 b
10-20				26 c	4,9 c	1,6 c	48 c	20 c	132 c	53 c
P-valor				<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

⁽¹⁾Aplicação de N, P, K: 1= Imediatamente antes da semeadura da cultura de inverno, sem incorporação; 2= P como em 1 e N e K no sulco de semeadura de verão; 3= P como em 1 e N e K a lanço imediatamente antes da semeadura de verão; 4= idem ao 2, substituindo fosfato solúvel por fosfato natural Carolina do Norte até a safra 2001/02 e posteriormente Gafsa; 5= N, P e K no sulco de semeadura de verão com sulcador do tipo disco duplo; 6= idem 5, utilizando sulcador do tipo haste; 7= N, P e K em faixa sobre a linha de semeadura; 8= N, P e K a lanço imediatamente após a semeadura de verão; 9= N e P no sulco de semeadura de verão e K a lanço imediatamente após a semeadura de verão e; 10= sem aplicação de N, P e K. ⁽²⁾Utilização de mecanismo sulcador do tipo haste no feijão e no milho e do tipo disco duplo na soja. ⁽³⁾Valores seguidos da mesma letra na coluna, não diferem entre si - Tukey 5%.

Nas amostras coletadas em 2004, também não se detectou variação nos valores K, CO, pH, Ca, Mg, CTC e V% com a adubação e com as diversas formas de

aplicação de adubo (Tabela 13). Considerando a produtividade das culturas obtidas (item 4 desta tese, Capítulo 1), que não houve perdas expressivas por erosão, e utilizando os dados de exportação de K para a soja de 18,8, para o milho de 4,8 e para o feijão de 15,0 kg por tonelada de grãos (PAULETTI, 2004), pode-se calcular o balanço desse nutriente. No tratamento sem adubação (tratamento 10) foram exportados aproximadamente 250 kg de K durante os seis anos de condução do ensaio, o que deveria proporcionar decréscimo acentuado nos teores desse nutriente no solo, o que não foi observado. Isso se deve, possivelmente, a deposição desse nutriente na superfície em função da reciclagem proporcionada pelas culturas em rotação e pela contribuição do K não-trocável do solo no suprimento da demanda das plantas (MARTINS; MELO; SERRAT, 2004).

Houve interação entre profundidade e os tratamentos para o P. Na profundidade de 0-5 cm, são observados menores teores de P no tratamento 6, onde sempre foi utilizado o mecanismo sulcador tipo haste para incorporar o adubo, e no tratamento 10, com ausência de aplicação de P. A haste proporcionou a aplicação de adubo em sulcos de aproximadamente 10 cm, profundidade superior ao disco duplo, justificando o menor teor na superfície em relação aos demais tratamentos. Nas camadas de 5-10 e 10-20 cm, não houve efeito da aplicação e das formas de aplicação de adubo, situação esperada pela pouca mobilidade desse nutriente no perfil do solo. Também pode-se inferir que a aplicação de P em camadas mais profundas aumenta a sua adsorção, pois a aplicação em sulco utilizando haste não aumentou o teor desse nutriente nas camadas além de 5 cm de profundidade. Isto se deve possivelmente ao menor teor de matéria orgânica (TISDALE; NELSON; BEATON, 1985) e ao menor pH nas profundidades 5-10 e 10-20 (RAIJ; QUAGGIO, 1990). A metodologia de resina adotada neste trabalho para a determinação do P disponível e que também é utilizada na rotina dos laboratórios, reforça esta hipótese. Esse método apresenta sensibilidade às variações nas formas de P do solo (PALMA; FASSBENDER, 1970; RAIJ; QUAGGIO, 1990; RAIJ, 2004), porém não quantifica todo o P considerado potencialmente disponível e o P adsorvido (RHEINHEIMER; ANGHINONI; KAMINSKI, 2000). Se considerarmos a exportação de P durante os seis anos antes da amostragem em 2004, utilizando os

dados de exportação de P para a soja de 5,5, para o milho de 3,8 e para o feijão de 4,1 kg por tonelada de grãos (PAULETTI, 2004), a redução do teor de P na profundidade de 0-5 cm no tratamento sem adubo poderia ser maior devido a exportação de aproximadamente 100 kg de P ha⁻¹. Possivelmente o tampão de P no solo em que foi desenvolvido o experimento, representado pelas formas potencialmente disponíveis (RHEINHEIMER; ANGHINONI; KAMINSKI, 2000), seja elevado, especialmente se for considerado o alto teor inicial desse nutriente e o tempo de uso de adubação fosfatada na área de estudo (McCOLLUM, 1991). O uso de fosfato natural (tratamento 4) manteve semelhança em relação aos tratamentos com uso de fosfato solúvel.

Com estas informações percebe-se que nas condições iniciais de solo do atual trabalho, com exceção do P, não ocorrem modificações na distribuição da maioria dos atributos da fertilidade do solo até seis anos, mesmo quando são adotadas diferentes estratégias de aplicação ou diante da ausência de aplicação de adubos. Para o P, no entanto, as variações ocorrem após um período superior a três anos, iniciando nos primeiros centímetros a partir da superfície.

Apesar de não ser objeto de comparação estatística neste trabalho, os teores médios de P diminuíram em 23, 44 e 72%, e os de K em 0, 19 e 38 %, nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm, respectivamente, ao se comparar os teores de 2001 com 2004 (Tabelas 12 e 13), mesmo com a inclusão da linha de semeadura na coleta feita nessa última data. Considerando os dados médios de exportação citados por Pauletti (2004), e os de produtividade (item 4 desta tese, Capítulo 1), o saldo calculado entre a adição de P e de K e a exportação destes nutrientes com a colheita, é de zero para P e -41 para K, de 2001 para 2004. O saldo negativo para K explica a diminuição do teor desse nutriente nas camadas inferiores amostradas. No entanto, para o P, percebe-se uma diminuição no teor no solo, mesmo com a reposição através da adubação sendo equivalente ao exportado nos grãos. Esta constatação sugere que para esse nutriente e para esse solo, deve-se considerar uma eficiência da adubação inferior a 100%, devendo-se adotar adubações superiores ao exportado pela colheita, para manter os teores no solo.

Da mesma forma, percebe-se maior diferença entre as profundidades na segunda coleta, tanto para P quanto para K. Porcentualmente, a camada de 10-20 cm apresentou teores de P e de K equivalentes a 44% e 67% em relação à profundidade 0-5 cm em 2001, respectivamente, sendo que os percentuais para as mesmas comparações foram de 32% e 41%, respectivamente, na coleta feita em 2004. Essa constatação pode ser devido à redistribuição ocorrida com a deposição dos adubos ou mesmo da palhada nas camadas mais superficiais ou ainda devido ao maior volume de solo amostrado em 2004. Esse maior volume de solo pode ter proporcionado diluição dos teores, situação observada com o P por Alvarez e Guarçoni (2003) que compararam o uso de pá de corte com o trado de caneca para a coleta de amostras, encontrando menores valores com o uso da pá.

6.5.3 Metodologia de coleta de amostra

Não houve interação entre os efeitos dos tratamentos, profundidade de coleta e metodologia de coleta para todos os atributos avaliados. Os tratamentos influenciaram os valores de P, K, pH, Mg e CTC (Tabela 14). A variação encontrada para pH, Mg e CTC não representa variação que possa ser baseada nos efeitos diretos dos tratamentos. O P basicamente foi maior nos tratamentos com aplicação desse nutriente em relação ao tratamento 10 (sem aplicação), mesmo assim, todos os valores estão em níveis considerados altos. O mesmo ocorre com o K, sendo que a maior variação ocorre entre a ausência de adubação (tratamento 10) e os demais tratamentos sem modificar a interpretação dos dados. Essas informações sugerem que o tempo de seis anos sem adubação não foi suficiente para alterar os teores a ponto de interferir na recomendação de adubação destes nutrientes.

Todos os parâmetros químicos avaliados apresentaram maior valor na coleta realizada na profundidade de 0-10 cm em relação à profundidade de 0-20 cm (Tabela 14). O teor de P e de K, por exemplo, são em média 60 e 33 % maiores na amostragem de 0-10 cm, respectivamente. Esse maior teor na coleta superficial reflete a concentração superficial dos atributos químicos em função da ausência de

revolvimento do solo. Apesar dos maiores teores com a amostragem de 0-10 cm, não ocorre alteração nos níveis de interpretação em relação à amostragem na profundidade de 0-20 cm. Isso sugere que em situações similares a este ensaio, níveis altos de P e demais atributos e médios de K, a profundidade de coleta não interfere na recomendação de adubação, ou mesmo de calcário. Mais investigações para níveis médios de P e de V% deveriam ser feitas para verificar se as profundidades de coleta também seriam semelhantes. Estes dados discordam da COMISSÃO RS/SC (2004) que recomenda a coleta na profundidade de 0-10 cm para áreas sob sistema plantio direto (SPD) estabelecido. Por outro lado, concordam com Bordoli e Malarino (1998) e Stecker e Brown (2001) que observaram que a recomendação de coleta de amostras sugerida para sistemas com revolvimento do solo poderia ser utilizada para o SPD.

A coleta de amostras que inclui a linha de adubação proporcionou maiores teores de Ca e de CTC na análise, em relação a coleta na entrelinha (Tabela 14). Provavelmente a aplicação no sulco de superfosfato triplo, que contém entre 12 e 14% de Ca pode ter sido a causa desses maiores teores de Ca e CTC, já que o Ca apresenta pouca mobilidade no solo e na planta. O maior teor de K observado na coleta que inclui o sulco de adubação deve estar relacionado à concentração no sulco pela adubação e movimentação desse nutriente em direção ao sistema radicular, além da lavagem da própria planta (KLEPKER; ANGHINONI, 1995b). Alvarez e Guarçoni (2003), ao compararem a coleta com pá e com trado, observaram maior teor na amostragem com o primeiro instrumento, atribuindo esse efeito a maior certeza de coleta da porção adubada. Apesar do maior teor de K na amostra que inclui a linha de adubação, não ocorre mudança no nível de interpretação para fins de recomendação desse nutriente para as culturas.

Para o P não houve variação do teor entre as metodologias avaliadas (Tabela 14). Essa constatação discorda de vários trabalhos que observaram maior teor de P nas análises com a maior participação na amostra da porção do solo adubado (VASCONCELLOS et al., 1982; KITCHEN; HAVLIN; WESTFALL, 1990; SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000). Os altos teores no solo e o tempo de adoção do SPD podem ter sido a causa dessa ausência de diferença, especialmente se for

TABELA 14 – MÉDIA ARITMÉTICA DOS TEORES DE FÓSFORO (P), CARBONO ORGÂNICO (CO), pH, POTÁSSIO (K), CÁLCIO (Ca), MAGNÉSIO (Mg), CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIOS (CTC) E SATURAÇÃO POR BASES (V) NO SOLO, EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS, DA PROFUNDIDADE E DO MÉTODO DE COLETA DAS AMOSTRAS - 2004.

	P		CO		pH		K		Ca		Mg		CTC		V	
	mg dm ⁻³		g dm ⁻³		CaCl ₂		mmol _c dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³		mmol _c dm ⁻³		%	
Tratamento ⁽¹⁾																
1 ⁽²⁾	58	a ⁽³⁾	31	5,19	abc	2,6	abc	65	25	b	144	bc	64	a		
2 ⁽²⁾	55	a	31	5,22	abc	2,9	a	65	27	ab	145	bc	65	a		
3 ⁽²⁾	60	a	31	5,13	b	2,7	ab	70	27	ab	154	a	64	a		
4 ⁽²⁾	55	a	31	5,19	abc	2,2	bcd	66	26	ab	143	bc	65	a		
5	54	ab	31	5,27	a	2,2	bcd	67	27	ab	143	bc	67	a		
6	49	ab	31	5,18	abc	2,4	abc	64	26	ab	143	bc	64	a		
7 ⁽²⁾	57	a	31	5,12	c	2,1	cd	68	26	ab	152	ab	63	a		
8 ⁽²⁾	53	ab	32	5,23	abc	2,5	abc	66	28	ab	145	bc	66	a		
9 ⁽²⁾	54	ab	30	5,26	ab	2,7	ab	63	26	ab	139	c	66	a		
10 ⁽²⁾	40	b	32	5,19	abc	1,8	d	65	28	a	147	abc	65	a		
P-valor	<0,0001		0,098		0,002		<0,0001		0,267		0,031		<0,0001		0,042	
Profundidade - cm																
0-10	66		33		5,28		2,8		71		28		150		68	
0-20	41		30		5,12		2,1		61		24		142		62	
P-valor	<0,0001		<0,0001		<0,0001		<0,0001		<0,0001		<0,0001		<0,0001		<0,0001	
Coleta																
Linha	53		31		5,18		2,6		67		27		147		65	
Entre-linha	54		31		5,22		2,2		65		26		144		64	
P-valor	0,366		0,502		0,063		<0,0001		0,038		0,162		0,011		0,145	

⁽¹⁾Aplicação de N, P, K: 1= Imediatamente antes da semeadura da cultura de inverno, sem incorporação; 2= P como em 1 e N e K no sulco de semeadura de verão; 3= P como em 1 e N e K a lanço imediatamente antes da semeadura de verão; 4= idem ao 2, substituindo fosfato solúvel por fosfato natural Carolina do Norte até a safra 2001/02 e posteriormente Gafsa; 5= N, P e K no sulco de semeadura de verão com sulcador do tipo disco duplo; 6= idem 5, utilizando sulcador do tipo haste; 7= N, P e K em faixa sobre a linha de semeadura; 8= N, P e K a lanço imediatamente após a semeadura de verão; 9= N e P no sulco de semeadura de verão e K a lanço imediatamente após a semeadura de verão e; 10= sem aplicação de N, P e K. ⁽²⁾Utilização de mecanismo sulcador do tipo haste no feijão e no milho e do tipo disco duplo na soja. ⁽³⁾Valores seguidos da mesma letra na coluna, não diferem entre si - Tukey 5%.

o nível de interpretação, que é alto nas duas formas de coleta. Em áreas por longo tempo sob SPD podem ocorrer, aleatoriamente, porções de solo com elevados teores de P em função do efeito residual de adubações anteriores. Stecker e Brown (2001) observaram efeito residual acentuado, três anos após a aplicação de 20 kg ha⁻¹ de P e de até sete anos para uma dose aplicada de 10 kg ha⁻¹ de P no sulco, neste caso com teores maiores que duas vezes em relação ao solo adjacente. Os mesmos autores

estimaram em 6% a área superficial sob influência destas zonas residuais. Como neste estudo foram aplicados 18 kg ha^{-1} de P na soja e 26 kg ha^{-1} de P no feijão e no milho, além da adubação de reposição utilizada no trigo, é possível que o efeito residual dessas doses tenha influencia no resultado das análises, pois a amostragem na entrelinha foi aleatória, sem identificação das linhas de semeadura dos cultivos anteriores ao feijão, cultura após a qual foi feita a amostragem. Deve-se considerar também, a dificuldade de centralizar a tradagem na linha de deposição do adubo, como observado por Kitchen, Havlin e Westfall (1990) e Stecker e Brown (2001), que pode diluir o teor de P na amostra que inclui a linha de semeadura e também a profundidade de coleta, pois as maiores variações nos teores desse nutriente ocorrem nos primeiros 5 cm superficiais, conforme discutido anteriormente, efeito que pode ter sido diluído com as coletas de 0-10 e 0-20 cm.

Apesar do P e do K apresentarem elevada variabilidade horizontal no SPD (SOUZA; COGO; VIEIRA, 1998; SILVEIRA et al., 2000; SCHLINDWEIN; ANGHINONI, 2000; ALVAREZ; GUARÇONI, 2003), isso pode não interferir no resultado final médio da amostra quando a área está sob este sistema por um longo tempo. O mesmo ocorre com as variações nos resultados dos demais atributos avaliados, não havendo mudança na interpretação do resultado da análise para fins de recomendação de adubação e calagem.

6.6 CONCLUSÕES

Os atributos químicos do solo foram maiores nas camadas superficiais. O teor de P foi menor na profundidade de 0-5 cm com o uso contínuo por mais de três anos do mecanismo sulcador tipo haste e com a ausência de adubação.

As metodologias de coleta de solo, com e sem inclusão da linha de semeadura, foram diferentes somente para os teores de K, cálcio e capacidade de troca catiônica, sendo que os maiores valores são observados com a inclusão da linha de semeadura. Os maiores teores dos atributos químicos avaliados no solo foram obtidos com a coleta de 0-10 cm em relação a coleta de 0-20 cm. As metodologias de coleta de amostras de solo com e sem inclusão da linha de semeadura, e as profundidades de coleta 0-10 e 0-20 cm, foram semelhantes quanto à interpretação dos resultados das análises para fins de recomendação de adubação e calagem.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estratégias de aplicação de adubo no sistema plantio direto são pouco estudadas no Brasil, apesar de apresentarem importância econômica. Em regiões ou propriedades em que a fertilidade das áreas agrícolas é alta, a aplicação a lanço dos adubos, pode ser uma prática viável.

A realização de duas operações, semeadura e adubação, num mesmo momento, dificulta o aproveitamento das condições ideais de semeadura, assim como a aplicação de doses de adubo de acordo com as variações de fertilidade ou potenciais produtivos que possam ocorrer ao longo do talhão. Essas variações decorrem principalmente do histórico de manejo ou ainda do tipo de solo. Por isso, mais informações devem ser obtidas para o sistema plantio direto, ampliando a segurança quanto à alteração das estratégias de adubação.

Se forem considerados os atuais equipamentos presentes nas propriedades agrícolas brasileiras, a aplicação de adubos de forma independente da operação de semeadura facilitaria o uso de ferramentas modernas de gestão da fertilidade, como as empregadas na agricultura de precisão.

O uso de estratégias de coleta de amostras de solo para fins de fertilidade em plantio direto também deve levar em consideração as modificações proporcionadas por um longo tempo de adoção de cultivo neste sistema. Estudos de longo prazo são importantes para assegurar que os resultados sejam repetitivos. Considerando os dados obtidos neste trabalho, as formas de amostragem não modificam as recomendações de adubações. Com isso, poderia ser recomendada a mesma metodologia definida para sistemas com preparo do solo, ou seja, coleta na profundidade de 0-20 cm e com amostragens aleatórias no talhão, na entrelinha de semeadura da cultura anterior.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L.J.; LEITÃO FILHO, H.; MIYASAKA, S. Características do feijão carioca, um novo cultivar. **Bragantia**, Campinas, v.30. p.33-38, 1977.
- ALMEIDA, M. L.; SANGOI, L.; NAVA, I. C.; GALIO, J.; TRENTIN, P. S.; RAMPAZZO, C. Crescimento inicial do milho e sua relação com o rendimento de grãos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 189-194, 2003.
- ALVAREZ, V. H.; GUARÇONI, M. A. Variabilidade horizontal da fertilidade do solo de uma unidade de amostragem em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 297-310, 2003.
- ANGHINONI, I. Uso de fósforo pelo milho afetado pela fração de solo fertilizada com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 349-353, 1992.
- ANTONIAZZI, N.; DESCHAMPS, C. Análise de crescimento de duas cultivares de cevada após tratamentos com elicitores e fungicidas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1065-1071, 2006.
- ARF, O.; SILVA, L. S.; BUZETTI, S.; ALVES, M. C.; SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F.; HERNADEZ, F. B. T. Efeito da rotação de culturas, adubação verde e nitrogenada sobre o rendimento do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 11, p. 2029-2036, 1999.
- BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. F. Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1317-1324, 2000.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FCAV-UNESI, 1988. 42 p.
- BERMUDEZ, M.; MALLARINO, A. P. Yield and early growth responses to starter fertilizer in no-till corn assessed with precision agriculture technologies. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 1024-1033, 2002.
- BERTOL, I. Erosão hídrica em cambissolo húmico distrófico sob diferentes preparos do solo e rotação de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n.2, p. 267-271, 1994.
- BORDOLI, J. M.; MALLARINO, A. P. Deep and shallow banding of phosphorus and potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn. **Agronomy Journal**, Madison, v. 90, p.27-33, 1998.
- BORGES, R.; MALLARINO, A. P. Grain yield, early growth, and nutrient uptake of no-till soybean as affected by phosphorus and potassium placement. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 380-388, 2000.
- BROCH, D. L.; CHUEIRI, W. A. **Estratégia de adubação: cultura da soja cultivada sob sistema plantio direto**. Maracaju: Fundação MS/Manah, 2005. 53 p.
- BUAH, S. S. J.; POLITO, T. A.; KILLORN, R. No-tillage soybean response to banded and broadcast and direct an residual fertilizer phosphorus and potassium applications. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 657-662, 2000.

- BULLOCK, D. G.; SIMMONS, F. W.; CHUNG, I. M.; JOHNSON, G. I. Growth analysis of corn grown with or without starter fertilizer. **Crop Science**, Madison, v. 33, p. 112-117, 1993.
- BUNDY, L. G.; ANDRASKI, T. W. Starter fertilizer response on high and very high testing soils. **Better Crops With Plant Food**, Atlanta, v. 85, n. 2, p. 3-4, 2001.
- CHAIB, S. L.; BULISANI, E. A.; CASTRO, L. H. S. M. Crescimento e produção do feijoeiro em resposta à profundidade de aplicação do adubo fosfatado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 7, p. 817-822. 1984.
- COELHO, J. L. D. **Avaliação de elementos sulcadores para semeadoras-adubadoras utilizadas em sistemas conservacionistas de manejo do solo**. Campinas, 1998. 71 p. (Dissertação de Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 743-753, 2003.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400 p.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/download/safra>> Acessado em: 15 de fevereiro, 2006.
- CORREA, J. C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n. 12, p. 1231-1237, 2004.
- DEKALB. **DKB 214: perfil genético**. Disponível em http://www.dekalb.com.br/produto_milho.aspx?id=5. Acessado em 05 de novembro, 2006.
- DIECKOW, J.; MEURER, E.J.; SALET, R.L. Nitrogen application timing and soil inorganic nitrogen dynamics under no-till oat/maize sequential cropping. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 30, n. 4, p. 707-714, 2006.
- ECKERT, D. J.; JOHNSON, J. W. Phosphorus fertilization in no-tillage corn production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, p.789-792, 1985.
- ELTZ, F. L. F.; PEIXOTO, R. T. J.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 259-267, 1989.
- EMBRAPA/FUNDAÇÃO ABC. **Mapa do levantamento semidetalhado de solos: Município de Castro**. Castro: EMBRAPA/Fundação ABC, 2001.
- EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja: Paraná 2006**. Londrina: EMBRAPA/Soja, 2005. 208 p.
- EMBRAPA. **Cultivares de soja 2006**. Disponível em http://www.cnpso.embrapa.br/index.php?op_page=299&cod_pai=16. Acessado em 05 de novembro, 2006.

- FAGERIA, N. K.; BARBOSA FILHO, M. P.; STONE, L. F. Nutrição de fósforo na produção de feijoeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. **Anais...** Piracicaba: POTAFÓS, 2004. p. 435-455.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Produção de milho em terras baixas. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Ed.). **Milho: tecnologia e produção**. Piracicaba: ESALQ/USP/LVP, 2005. p. 21-33.
- FBPDP – Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. Paraná. **Área de plantio direto no Paraná**. Disponível em http://www.febrapdp.org.br/area_PD_Brasil_2002.htm Acessado em: 15 de setembro, 2006.
- FONTOURA, S. M. V. **Adubação nitrogenada na cultura do milho em Entre Rios, Guarapuava, Paraná**. Guarapuava: Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2005. 94 p.
- FONTOURA, S. M. V.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; CLAZER, E. R. Adubação nitrogenada na cultura do milho no sistema plantio direto: aplicação na semeadura vs em cobertura. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO & FEIJÃO, 2., Lages, 1999. **Anais...** Lages: UDESC/EPAGRI, 1999. p. 224-228.
- FRANCHINI, J. C.; PAVAN, M. A.; MIYAZAWA, M. Redistribution of phosphorus in soil through cover crop roots. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 47, p. 381-386, 2004.
- GALRÃO, E.Z. Métodos de aplicação de zinco e avaliação de sua disponibilidade para o milho num latossolo vermelho-escuro, argiloso, fase cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n.2, p. 283-289, 1996.
- GASSEN, D. N.; KOCHHANN, R. A. Benefícios de insetos de solo sob plantio direto. In: NUERNBERG, N. J. (Ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 1998. p. 151-160.
- GORDON, W. B. Startes fertilizers containing potassium for ridge-till corn and soybean production. **Better Crops With Plant Food**. v. 83, n. 2, p. 22-23, 1999.
- GUADAGNIN, J. C.; BERTOL, I.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J. Perdas de solo, água e nitrogênio por erosão hídrica em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, n. 2, p. 277-286, 2005.
- HECKMAN, J. R.; KAMPRATH, E. J. Potassium accumulation and corn yield related to potassium fertilizer rate and placement. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 56, p. 141-148, 1992.
- HOLANDA, F. S. R.; MENGEL, D. B.; PAULA, M. B.; CARVALHO, J. G.; BERTONI, J. C. Influence of crop rotations and tillage systems on phosphorus and potassium stratification and root distribution in the soil profile. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 29, n. 15/16, p. 2383-2394, 1998.
- HOROWITZ, N.; MEURER, E.J. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA. **Anais...** Piracicaba: POTAFÓS, 2004. p. 665-687.

HOWARD, D. D.; ESSINGTON, M. E.; LOGAN, J. Long-term broadcast and banded phosphorus fertilization of corn produced using two tillage systems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 51-56, 2002.

IAPAR. **Cartas climáticas do estado do Paraná - 2000**. Disponível em: <http://www.iapar.br/Sma/Cartas_Climaticas>. Acesso: 23 de janeiro, 2005.

KABIR, Z.; O'HALLORAN, I. P.; WIDDEN, P.; HAMEL, C. Vertical distribution of arbuscular mycorrhizal fungi under corn (*Zea mays* L.) in no-till and conventional tillage systems. **Mycorrhiza**, Heidelberg, v. 8, p. 53-55, 1998.

KAISER, D. E.; MALLARINO, A. P.; BERMUDEZ, M. Corn grain yield, early growth, and early nutrient uptake as affected by broadcast and in-furrow starter fertilization. **Agronomy Journal**, Madison, v. 97, p. 620-626, 2005.

KASPAR, T. C.; BROWN, H. J.; KASSMEYER, E. M. Corn root distribution as affected by tillage, wheel traffic, and fertilizer placement. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 55, p. 1390-1394, 1991.

KITCHEN, N. R.; HAVLIN, J. L.; WESTFALL, D. G. Soil sampling under no-till banded phosphorus. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 54, p. 1661-1665, 1990.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Crescimento radicular e aéreo do milho em vasos em função do nível de fósforo no solo e da localização do adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 403-408, 1995a.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 3, p. 395-401, 1995b.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A. Adubação profunda no sistema plantio direto. **Plantio Direto**, Brasília, p. 35-36, jul./ago. 1998.

LANTMANN, A. F.; OLIVEIRA, M. C. N.; ROESSING, A. C.; SFREDO, G. J. Produtividade do trigo em sucessão a soja não fertilizada em latossolo roxo distrófico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 3, p. 257-265, 1997.

LANTMANN, A. F.; ROESSING, A. C.; SFREDO, G. J.; OLIVEIRA, M. C. N. **Adubação fosfatada e potássica para sucessão soja-trigo em latossolo roxo distrófico sob semeadura direta**. Londrina: EMBRAPA-Soja, 1996. 44 p. (Circular Técnica, 15).

MALLARINO, A. P.; BORDOLI, J. M.; BORGES, R. Phosphorus and potassium effects on early growth and nutrient uptake of no-till corn and relationships with grain yield. **Agronomy Journal**, Madison, v. 91, p. 37-45, 1999.

MARTINS, R.; MELO, V. F.; SERRAT, B. M. Métodos de determinação da disponibilidade de potássio para a cultura do trigo em solos dos Campos Gerais, Estado do Paraná. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 51, n. 298, p. 787-801, 2004.

McCOLLUM, R.E. Buildup and decline in soil phosphorus: 30-year trends in a typical umbrabuilt. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, p. 77-85, 1991.

McCONNELL, S.G.; SANDER, D.H.; PETERSON, G.A. Effect of fertilizer phosphorus placement depth on winter wheat yield. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 50, p. 1483-153, 1986.

- MELLO, L. M. M.; TAKAHASHI, C. M.; YANO, E. H. Condicionamento físico do solo na linha de semeadura de milho em plantio direto: mecanismos sulcadores e rodas compactadoras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., Salvador, 2002. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.
- MERTEN, G. H.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em latossolo roxo sob dois sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 369-374, 1991.
- MODEL, N. S.; ANGHINONI, I. Resposta do milho a modos de aplicação de adubos e técnicas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 55-59, 1992.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 5. ed. New York: John Wiley & Sons, 2001. 684 p.
- MULLINS, G. L.; REEVES, D. W.; BURMESTER, C. H.; BRYANT, H. H. In-row subsoiling and potassium placement effects on root growth and potassium content of cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 136-139, 1994.
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, p. 95-102, 1983.
- NICOLODI, M.; ANGHINONI, I.; SALET, R. L. Alternativa à coleta de uma seção transversal, com pá de corte, na largura da entrelinha, na amostragem do solo em lavouras com adubação em linha no sistema plantio direto. **Plantio Direto**, Brasília, v. 69, p. 22-28, 2002.
- OLIVEIRA, F. A.; SILVA, J. J. S.; VILELA, L.; SOUZA, D. M. G. Doses e métodos de aplicação de potássio na soja em solo dos cerrados da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 11, p. 1485-1495, 1992.
- PALMA, G.; FASSBENDER, H.W. Estudio del fósforo en suelos de América Central. V. Uso de resinas de intercambio para evaluar la disponibilidad de P. **Turrialba**, v.20, n.3, p. 279-287, 1970.
- PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. Campinas: Fundação Cargill, 1998. 59 p.
- PAULETTI, V. **Nutrientes: teores e interpretações**. Castro, 2004. 86 p.
- PAULETTI, V.; COSTA, L. C. Época de aplicação de nitrogênio no milho cultivado em sucessão à aveia preta no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n.4, p. 599-603, 2000.
- PAULETTI, V.; LIMA, M.R.; BARCIK, C.; BITTENCOURT, A. Evolução nos atributos químicos de um Latossolo Vermelho sob diferentes métodos de preparo do solo. **Scientia Agrária**, Curitiba, v. 6, n. 1-2, p. 9-14, 2005.

- PAULETTI, V.; VIEIRA, S. M.; SANTOS, A. F.; OLIVEIRA, S. O.; MOTTA, A. C. V. Avaliação da fertilidade do solo em profundidade e da palhada em áreas sob plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. p. 630-632.
- PAVINATO, P. S.; CERRETA, C. A. Fósforo e potássio na sucessão trigo/milho: épocas e formas de aplicação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 6, p. 1779-1784, 2004.
- PERIN, E.; CERETTA, C.A.; KLAMT, E. Tempo de uso agrícola e propriedades químicas de dois latossolos do plantalto médio do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 665-674, 2003.
- PORTES, T.A.; CASTRO, L. G. Análise de crescimento de plantas: um programa computacional auxiliar. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 3, n. 1, p. 53-56, 1991.
- PÖTTKER, D. **Aplicação de fósforo no sistema plantio direto**. Passo Fundo: EMBRAPA/Trigo, 1999. 32 p. (Boletim de pesquisa, 2).
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M.; ROQUE, C. G. Resposta da cultura do milho a modos de aplicação e doses de fósforo, em adubação de manutenção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 83-90, 2001.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>., 2005.
- RAIJ, B. Van; Métodos de diagnose de fósforo no solo em uso no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba, 2004. **Anais...** Piracicaba: POTAFÓS, 2004. p. 157-200.
- RAIJ, B. Van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendação de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1996. 285 p. (Boletim técnico, 100).
- RAIJ, B. Van; QUAGGIO, J. A. Extractable phosphorus availability indexes as affected by liming. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 21, n. 13/16, p. 1267-1276, 1990.
- RAIJ, B. Van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.
- REEVES, D. W.; TOUCHTON, J. T.; BURMESTER, C.H. Starter fertilizer combinations and placement for conventional and no-tillage corn. **Journal of Fertilizer Issues**, v. 3, n. 3, p. 80-85, 1986.
- REEVES, D. W.; WOOD, C. W.; TOUCHTON, J. T. Timing nitrogen applications for corn in a Winter legume conservation-tillage system. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 98-106, 1993.
- RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, n.2, p. 345-354, 2000.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e adubos em Minas Gerais**. 5. ed., Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p.

SÁ, J.C.M. **Manejo da fertilidade do solo no plantio direto**. Castro: Fundação ABC, 1993. 96p.

SÁ, J. C. M. Fósforo: resposta das culturas de milho, trigo e soja no sistema plantio direto. . In: **Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto**, Castro, 1995. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1995a. p.256-263.

SÁ, J. C. M. Nitrogênio: influência da rotação de culturas e resposta da cultura do milho em solos sob plantio direto. In: **CURSO SOBRE MANEJO DO SOLO NO SISTEMA**, Castro, 1995. **Anais...** Castro: Fundação ABC, 1995b. p. 213-227.

SÁ, J. C .M. Adubação fosfatada no sistema plantio direto . In: **SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA**, Piracicaba, 2004. **Anais...** Piracicaba: POTAFÓS, 2004. p. 201-222.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A. F.; ALMEIDA, M. L.; KONFLANZ, V. A. Nitrogen fertilization impacto on agronomic traits of maize hybrids released at different decades. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 757-764, 2001.

SEAB – Secretaria de estado da agricultura e do abastecimento. Paraná. **Comparativo de área, produção e produtividade**. Disponível em <<http://www.pr.gov.br/seab/deral>>. Acessado em: 15 de fevereiro, 2006.

SEMEATO. Disponível em <<http://www.semeato.com.br>>. Acessado em: 15 de fevereiro, 2006.

SCHLINDWEIN, J. A.; AMGHINONI, I. Variabilidade horizontal de atributos de fertilidade e amostragem do solo no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 24, p. 85-91, 2000.

SGUARIO Jr., J. C. **Doses e formas de aplicação de potássio na cultura do feijoeiro em sistema de plantio direto na palha**. Curitiba, 2000. 43 p. (Dissertação de Mestrado) - Universidade Federal do Paraná.

SILVA, P. R. A. **Mecanismos sulcadores de semeadora-adubadora na cultura do milho (*Zea mays* L.) no sistema de plantio direto**. Botucatu, 2003. 84 p. (Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

SILVA, D. J.; ALVARENGA, R. C.; ALVAREZ, V. H.; SOARES, P. C. Localização de fósforo e de cálcio no solo e seus efeitos sobre o desenvolvimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 13, p. 203-209, 1993.

SILVEIRA, P. M.; DAMASCENO, M. A. Doses e parcelamento de K e de N na cultura do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 11, p. 1269 a 1276, 1993.

SILVEIRA, P. M.; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, S. C.da ; CUNHA, A. A. da. Amostragem e variabilidade espacial de características químicas de um latossolo submetido a diferentes sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 2057-2064, 2000.

SOLBERG, E.D.; PENNEY, D.C.; EVANS, I.R.; MAURICE, D.C. Copper deficiency in prairie soils. . **Better Crops With Plant Food**, Atlanta, v. 78, n. 1, p. 4-5, 1994.

SOUZA, L. da S.; COGO, N. P.; VIEIRA, S. R. Variabilidade de fósforo, potássio e matéria orgânica no solo em relação a sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 22, n.1, p. 77-86, 1998.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba, 2004. **Anais...** Piracicaba: POTAFÓS, 2004. p. 157-200.

STECKER, J. A.; BROWN, J. R.. Soil phosphorus distribution and concentration from repeated starter phosphorus band application. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 32, n. 5/6, p. 803-819, 2001.

STECKER, J. A.; SANDER, D. H.; ANDERSON, F. N.; PETERSON, G. A. Phosphorus fertilizer placement and tillage in a wheat-fallow cropping sequence. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 52, p. 1063-1068, 1988.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre:Armed, 2004. 719 p.

TESSARO, L. C.; PAULETTI, V.; MARQUES, R.; BORTOLETO, S. Efeito de formas de aplicação e fontes de nitrogênio na cultura do milho em solo arenoso, sob plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25, Santa Maria, 2000. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2000. 1 CD-ROM.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan Publishing Company, 1985. 754 p.

YIBIRIN, H.; JOHNSON, J. W.; ECKERT, D. J. No-till corn production as affected by mulch, potassium placement, and soil exchangeable potassium. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 639-644, 1993.

VARVEL, G.E. Effect of banded and broadcast placement of Cu fertilizers on correction of Cu deficiency. **Agronomy Journal**, Madison, v. 75, n.1, p. 99-101, 1983.

VASCONSELLOS, C. A.; SANTOS, H. L.dos; BAHIA FILHO, A. F. C.; OLIVEIRA, A. C.; PACHECO, E. B. Amostragem de solo em área com adubação fosfatada aplicada a lanço e no sulco de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 6, p. 221-225, 1982.

WIETHÖLTER, S.; BEM, J. R.; KOCHHANN, R. A.; PÖTTKER, D. Fósforo e potássio no solo no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. (Ed.). **Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto**. Lages: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 1998. p. 121-149.

ZAGONEL, J. **Produtividade e componentes da produção de duas cultivares de feijão em função da profundidade de aplicação de adubo**. Botucatu: UNESP, 1997. 104p. (Tese de Doutorado).

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - PRODUTIVIDADES MÉDIAS DE SOJA E FEIJÃO, POR SAFRA, EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS.

Tratamento ⁽¹⁾	Soja				Média ⁽³⁾	% ⁽⁴⁾	Feijão				Média ⁽³⁾	% ⁽⁴⁾
	Safrá						Safrá					
	1998/99	2001/02	2003/04	2004/05			1999/00	2000/01	2002/03	2003/04		
	Mg ha ⁻¹						Mg ha ⁻¹					
1 ⁽²⁾	3,17	3,39	3,46	2,98	3,25	105	3,32	3,22	2,90	2,54	3,00	120
2 ⁽²⁾	3,26	3,67	3,09	3,09	3,28	106	3,70	3,30	3,03	2,81	3,21	129
3 ⁽²⁾	3,37	3,58	3,20	2,92	3,27	105	3,49	3,13	2,87	2,83	3,08	124
4 ⁽²⁾	3,06	3,60	3,26	2,96	3,22	104	3,62	3,09	2,95	2,85	3,13	126
5	2,96	3,81	3,22	2,94	3,23	104	3,54	3,18	3,01	2,52	3,06	123
6	3,10	3,45	3,42	2,90	3,22	104	3,70	3,26	3,13	2,82	3,23	130
7 ⁽²⁾	3,08	3,30	3,32	3,11	3,20	103	3,50	3,48	3,07	2,60	3,16	127
8 ⁽²⁾	3,38	3,85	3,23	3,16	3,41	110	3,67	3,16	2,92	2,98	3,18	128
9 ⁽²⁾	3,17	3,43	3,02	3,22	3,21	104	3,99	3,39	3,23	2,55	3,29	132
10 ⁽²⁾	3,13	3,21	3,18	2,87	3,10	100	2,49	2,72	2,61	2,14	2,49	100

⁽¹⁾Aplicação de N, P, K: 1= Imediatamente antes da semeadura da cultura de inverno, sem incorporação; 2= P como em 1 e N e K no sulco de semeadura de verão; 3= P como em 1 e N e K a lanço imediatamente antes da semeadura de verão; 4= idem ao 2, substituindo fosfato solúvel por fosfato natural Carolina do Norte até a safra 2001/02 e posteriormente Gafsa; 5= N, P e K aplicados no sulco de semeadura de verão com sulcador do tipo disco duplo; 6= idem 5, utilizando sulcador do tipo haste; 7= N, P e K aplicados em faixa sobre a linha de semeadura; 8= N, P e K aplicados a lanço imediatamente após a semeadura de verão; 9= N e P aplicados no sulco de semeadura de verão e K a lanço imediatamente após a semeadura de verão e; 10= sem aplicação de N, P e K. ⁽²⁾Utilização de mecanismo sulcador do tipo haste no feijão e no milho e do tipo disco duplo na soja.

⁽³⁾Média das 4 safras. ⁽⁴⁾Porcentagem da média das 4 safras do tratamento em relação à média das 4 safras do tratamento sem aplicação de adubo.

APÊNDICE 2 - PRODUTIVIDADES MÉDIAS DE MILHO EM QUATRO SAFRAS, EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS.

Tratamento ⁽¹⁾	Safras				Média ⁽³⁾	% ⁽⁴⁾
	1998/99	1999/00	2001/02	2002/03		
	Mg ha ⁻¹					
1 ⁽²⁾	7,08	10,03	9,89	10,08	9,27	165
2 ⁽²⁾	7,73	10,04	9,55	10,69	9,50	169
3 ⁽²⁾	7,07	11,18	10,84	10,21	9,82	174
4 ⁽²⁾	7,43	10,05	9,05	10,20	9,18	163
5	6,86	10,39	10,16	9,92	9,33	166
6	7,63	10,83	10,60	9,68	9,69	172
7 ⁽²⁾	7,11	9,87	11,61	10,50	9,78	174
8 ⁽²⁾	7,21	10,32	10,20	10,37	9,52	169
9 ⁽²⁾	7,82	11,34	10,61	10,28	10,02	178
10 ⁽²⁾	4,36	6,00	6,17	6,00	5,63	100

⁽¹⁾Aplicação de N, P, K: 1= Imediatamente antes da semeadura da cultura de inverno, sem incorporação; 2= P como em 1 e N e K no sulco de semeadura de verão; 3= P como em 1 e N e K a lanço imediatamente antes da semeadura de verão; 4= idem ao 2, substituindo fosfato solúvel por fosfato natural Carolina do Norte até a safra 2001/02 e posteriormente Gafsa; 5= N, P e K aplicados no sulco de semeadura de verão com sulcador do tipo disco duplo; 6= idem 5, utilizando sulcador do tipo haste; 7= N, P e K aplicados em faixa sobre a linha de semeadura; 8= N, P e K aplicados a lanço imediatamente após a semeadura de verão; 9= N e P aplicados no sulco de semeadura de verão e K a lanço imediatamente após a semeadura de verão e; 10= sem aplicação de N, P e K. ⁽²⁾Utilização de mecanismo sulcador do tipo haste no feijão e no milho e do tipo disco duplo na soja.

⁽³⁾Média das 4 safras. ⁽⁴⁾Porcentagem da média das 4 safras do tratamento em relação à média das 4 safras do tratamento sem aplicação de adubo.

RESUMO BIOGRÁFICO

Volnei Pauletti, filho de Celeste e Lourdes Pauletti, nasceu em 19 de abril de 1968, em Palma Sola (SC). Coursou os estudos de primeiro grau (1^a. a 8^a. séries) na Escola Estadual Professor Cândido Abdon Goulart, no mesmo município. Formou-se como Auxiliar de Patologia Clínica pelo Colégio Madre Teresa, em Francisco Beltrão (PR) no ano de 1985. Em 1986 ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal do Paraná - UFPR, em Curitiba (PR), concluindo no ano de 1991. Em 1993 ingressou no curso de Mestrado em Ciência do Solo pela UFPR, sob orientação da Prof^a Beatriz Monte Serrat, concluindo em 1995. Durante o ano de 1995 foi professor colaborador do curso de agronomia da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, em Lages (SC) e professor do curso de Engenharia Florestal na Universidade do Contestado, em Canoinhas (SC). A partir de março de 1996 iniciou suas atividades de pesquisa na Fundação ABC para Assistência e Divulgação Técnica Agropecuária, localizada em Castro (PR), como coordenador do Setor de Fertilidade de Solos, cargo que ocupa até o momento. Em 2004 iniciou o doutorado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, na UFPR, sob orientação da Prof^a Beatriz Monte Serrat, e co-orientação do Prof. Antonio Carlos Vargas Motta e da Prof^a. Nerilde Favaretto.